ROMÂNIA
MINISTERUL EDUCAȚIEI ,CERCETĂRII ŞI INOVĂRII
UNIVERSITATEA DE ŞTIINȚE AGRICOLE ŞI MEDICINĂ VETERINARĂ CLUJ-NAPOCA
DEPARTAMENTUL PENTRU EDUCAȚIE CONTINUĂ, ÎNVĂȚĂMÂNT LA DISTANȚĂ ŞI FRECVENȚĂ REDUSĂ
Str. Mănăştur Nr.3-5, 400372 Cluj-Napoca, România
tel.+ 40-264-596.384; fax + 40-264-593.792

FIZIOLOGIA PLANTELOR

HORTICULTURĂ
ANUL I

Conf. univ. dr. **ŞTEFANIA GÂDEA**

SUPORT DE CURS
SEMESTRUL II

ACADEMICPRES
CLUJ-NAPOCA
2009

CUPRINS

Cap.1. CELULA VEGETALĂ **4**
1.1. Definiția celulei 4
1.2. Organizarea chimică a celulei şi semnificația sa biologică 4
1.3. Compartimentarea celulară 6
1.4. Organitele celulare şi funcțiile lor fiziologice 7
1.4.1 Mitocondriile 9
1.4.2 Cloroplastele 12
1.4.3 Ribozomii (Granulele lui Palade) 14
1.4.4 Reticulul endoplasmatic (RE) 16
1.4.5 Dictiozomii (Aparatul Golgi) 17
1.4.6 Lizozomii 19
1.4.7 Peroxizomii 21
1.4.8 Nucleul 22
1.4.9 Vacuola 24
1.4.10 Membranele plasmatice şi plasmodesmele 25
1.4.11 Peretele celular (Membrana celulozică) 27
Cap.2. REGIMUL DE APĂ AL PLANTELOR **30**
2.1. Rolul apei în viața plantelor 31
2.2. Procesele fizice implicate în accesul apei în plante 33
2.3. Absorbția radiculară a apei 36
2.4. Absorbția extraradiculară a apei 40
2.5. Transportul apei în corpul plantelor 42
2.6. Eliminarea apei de către plantă 46
2.6.1 Stomatele şi rolul lor în transpirație 47
2.6.2 Gutația..... 50
Cap.3. REGIMUL NUTRIȚIONAL AL PLANTELOR **52**
3.1. Rolul elementelor minerale în viața plantelor 52
3.2. Procesele fizice implicate în accesul nutrienților în plante 54
3.3. Absorbția elementelor minerale în plante 57
3.3.1 Absorbția radiculară a elementelor minerale 57
3.3.2 Ritmul de absorbție a elementelor minerale 60
3.4. Transportul şi acumularea elementelor minerale în plante 62
3.5. Eliminarea (excreția) elementelor minerale de către plante 64
3.6. Carențele în elemente minerale şi diagnosticarea lor 66
3.6.1 Carența în azot 67
3.6.2 Carența în fosfor 68
3.6.3 Carența în potasiu 70
Cap.4. FOTOSINTEZA **72**
4.1. Definiția şi importanța fotosintezei 72
4.2. Cloroplastele, baterii solare miniaturizate 74
4.3. Reacțiile de lumină ale fotosintezei (Faza Robin Hill) 76
4.3.1 Absorbția CO_2 în cloroplaste 77
4.3.2 Absorbția energiei luminoase 78
4.3.3 Transformarea energiei luminoase în energie chimică 81
4.4. Reacțiile de întuneric ale fotosintezei (Faza Blackmann) 83
4.4.1 Ciclul C_3 (Ciclul Calvin) 84

4.4.2 Ciclul C_4 (Ciclul Hatch şi Slack) 87
4.4.3 Cilcul CAM (Metabolismul Acidului Crassulacean)..... 92
4.5. Factorii care influenţează fotosinteza 95
Cap.5. RESPIRAŢIA PLANTELOR 101
5.1. Definiţia şi importanţa respiraţiei 101
5.2. Mecanismul respiraţiei 102
5.2.1 Glicoliza 102
5.2.2 Ciclul Krebs 104
5.2.3 Lanţul respirator 105
5.3. Influenţa factorilor interni şi externi asupra respiraţiei 107
Cap.6. CREŞTEREA PLANTELOR 112
6.1. Definiţia şi importanţa procesului 112
6.2. Etapele de creştere 113
6.3. Localizarea creşterii 115
6.4. Factorii externi care influenţează creşterea plantelor 117
6.5. Substanţele de creştere 119
6.5.1 Substanţele stimulatoare 120
6.5.2 Substanţele inhibitoare 128
6.5.3 Substanţele retardante 130
6.6. Corelaţiile şi dominanţa apicală 131
6.7. Regenerarea şi polaritatea 133
Cap.7. DEZVOLTAREA PLANTELOR 136
7.1. Definiţia şi principiile dezvoltării 136
7.2. Fiziologia formării florilor (anteza) 138
7.3. Conceptul de vernalizare. Vernalizarea la diferite grupe de plante ... 139
7.4. Fotoperiodismul. Rolul fitocromului în reacţia fotoperiodică a plantelor 142
Cap.8. MIŞCĂRILE PLANTELOR 147
8.1. Definirea noţiunii de mişcare la plante 147
8.2. Mişcările intracelulare 148
8.3. Mişcările pasive 148
8.4. Mişcările active 150
8.4.1 Mişcările autonome (nutaţii) 150
8.4.2 Mişcările induse 151
Bibliografie 158
Test final autoevaluare **159**

C a p i t o l u l 1
CELULA VEGETALĂ

1.1. DEFINIȚIA CELULEI

Dificultatea definirii celulei este argumentată de complexa sa organizare şi funcționare, iar pe de altă parte, de realitatea că esența fenomenelor vitale nu este încă pe deplin elucidată.

Dacă în anul 1665 fizicianul englez ROBERT HOOKE a descris pentru prima dată celulele şi le-a conceput drept unități structurale goale, cum de altfel şi erau celulele țesutului mort de plută pe care le-a observat, ulterior, în anul 1838-1839, botanistul SCHLEIDEN şi zoologul SCHWANN au emis teoria celulară care confirma faptul că celulele nu sunt numai unități structurale, ci şi funcționale. Conform teoriei celulare, corpul tuturor viețuitoarelor este alcătuit din celule care sunt formate din membrană, citoplasmă şi nucleu.

Progresele realizate în sec. XX în construcția microscoapelor şi tehnicile noi de fixare şi colorare a țesuturilor, au permis studiul ultrastructurii celulei şi au stabilit faptul că toate fenomenele vitale ale organismelor vii (creşterea, reproducerea, mişcarea, adaptabilitatea, reactivitatea la stimulul factorilor externi etc.) pot fi explicate doar prin intermediul activității celulare.

Prin urmare, celula trebuie înțeleasă drept unitatea elementară şi discretă a lumii vii, produs al unei îndelungate evoluții, cu o ordine interioară complexă care îi conferă capacitatea de creştere, dezvoltare şi reproducere şi care, datorită unei organizări dinamice se află în relații permanente de schimb de substanțe şi energie cu mediul înconjurător (DICULESCU şi DOINA ONICESCU, 1983).

1.2. ORGANIZAREA CHIMICĂ A CELULEI ŞI SEMNIFICAȚIA SA BIOLOGICĂ

Studiul compoziției elementare a celulei atestă faptul că nici unul din elementele chimice care intră în alcătuirea materiei vii nu este specific doar pentru aceasta, întrucât toate elementele componente fac parte din elementele naturale ale tabelului periodic.

În celule, concentrația elementelor este diferită față de cea din natură şi aceasta se datorează proprietăților acestora de a selecționa din mediul extern doar acele elemente care le sunt utile şi necesare. S-a constatat faptul că celulele

selecționează din mediul înconjurător, de preferință, elementele uşoare iar din acest punct de vedere, compoziția celulelor este mai apropiată de compoziția cosmosului.

Din masa celulei, peste 95% o reprezintă patru elemente: oxigen, carbon, hidrogen şi azot. Alte câteva procente sunt reprezentate de Ca, P, K, S, Na, Fe, Mg şi Cl - acestea formează grupa macroelementelor. Există şi elemente care se regăsesc în cantități foarte mici, ele constituind grupa microelementelor sau oligoelementelor.

Evaluarea elementelor care intră în alcătuirea materiei vii sugerează faptul că celulele sunt alcătuite din apă, săruri minerale şi substanțe organice.

Apa intră în alcătuirea celulei în proporție de 60-90%. Deşi este dominantă şi indispensabilă desfăşurării proceselor vitale, apa nu este substratul însuşi al proceselor vitale. Extragerea sau imobilizarea ei, prin desicare sau congelare la temperaturi foarte joase, nu conduce la suprimarea proceselor vitale ci numai la suspendarea desfăşurării lor.

Sărurile minerale se găsesc în cantități foarte mici (1,5%) şi ele joacă un rol important în sensul că realizează condițiile fizico-chimice necesare efectuării proceselor vitale.

Substanțele organice reprezintă edificiul complex al substratului molecular al vieții. Prin urmare, structurile celulare edificate din substanțe organice nu sunt numai necesare proceselor biologice, ci ele sunt şi suficiente.

Moleculele organice sunt capabile să se asocieze în molecule mari, alcătuind entități numite **macromolecule.** Principalele macromolecule organice care participă la alcătuirea structurilor celulare sunt: proteinele, alcătuite din asocierea aminoacizilor, acizii nucleici rezultați din asocierea nucleotidelor, polizaharidele ca polimeri ai monozaharidelor şi lipidele.

Datorită structurii lor unice, proteinele şi acizii nucleici sunt molecule informaționale. În construcția celulelor, **proteinele** ocupă locul central datorită dublei lor calități, aceea de cărămizi constitutive a organitelor celulare şi de catalizatori enzimatici a tuturor reacțiilor biochimice din organismul viu. Se apreciază că o anumită celulă conține atâtea protein-enzime câte reacții chimice sunt necesare proceselor vitale specifice celulei respective (Diculescu şi Doina Onicescu, 1983).

Acizii nucleici sunt răspunzători de planurile de organizare a proteinelor, ei intrând în alcătuirea cromatinei nucleare, a nucleolilor şi ribozomilor.

Glucidele se regăsesc fie sub formă de rezervă, fie sub formă de complexe cu proteinele (glicoproteine) sau cu lipidele (glicolipide).

Lipidele formează complexe lipoproteice, care stau la baza formării diferitelor tipuri de citomembrane sau sunt stocate sub formă de depozite, în vederea furnizării combustibilului necesar transformărilor energetice, alături de glucoză.

1.3. COMPARTIMENTAREA CELULARĂ

Este cunoscut faptul că organitele celulare sunt individualizate prin intermediul membranelor, ceea ce înseamnă că reacţiile biochimice sunt separate spaţial în intimitatea celulară.

Principalele compartimente intracelulare sunt (fig.1.1, HOPSON şi WESSELLS, 1990): compartimentul mitocondrial, cel al reticulului endoplasmatic, vacuolar, nuclear şi cloroplastic. Datorită acestei compartimentări, reacţiile biochimice nu se stânjenesc reciproc, iar succesiunea şi viteza lor de desfăşurare nu este perturbată.

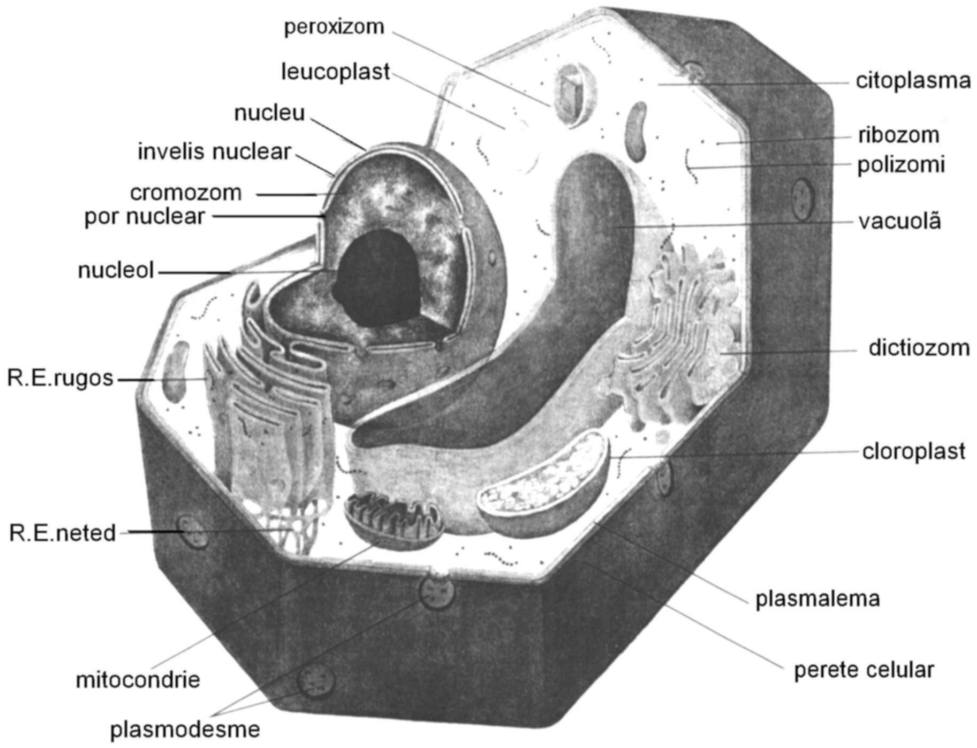


Fig. 1.1. Compartimentarea celulei vegetale

Dacă celula nu ar fi compartimentată, adică dacă diferitele membrane intracelulare nu ar crea zone în care anumiți compuşi chimici să se găsească în concentrații mai mari, pe care nu le-ar putea atinge dacă s-ar găsi uniform distribuiți în celulă ca într-o soluție, atunci reacțiile nu s-ar putea petrece cu vitezele necesare sau nu s-ar desfăşura deloc.

Compartimentarea celulei permite concentrarea enzimelor în anumite puncte şi cooperarea lor, aceste aspecte conducând la coordonarea reacțiilor biochimice care înlesnesc derularea proceselor esențiale pentru viața celulei.

Doar privind compartimentele în interrelație, sub aspectul modului de condiționare reciprocă a funcțiilor lor, se poate obține imaginea reală a vieții celulare.

1.4. ORGANITELE CELULARE ŞI FUNCȚIILE LOR FIZIOLOGICE

Organitele celulare au funcții fiziologice diferite, caracteristice fiecărui organit în parte, dar şi o serie de funcții comune: mişcarea intracelulară (microfilamente, microtubuli), producerea de energie (mitocondrii, cloroplaste), digestia intracelulară (lizozomi, peroxizomi), dezintoxicarea (reticul endoplasmatic neted, peroxizomi) şi producerea de molecule necesare celulei sau destinate exportului (ribozomi, reticul endoplasmatic, aparat Golgi).

Organitele sunt de mărimi diferite, unele de ordinul micronilor (mitocondrii, aparat Golgi, ergastoplasma) iar altele sunt mai mici, ceea ce le face observabile doar la microscopul electronic (lizozomi, peroxizomi, reticul endoplasmatic, microfilamente, ribozomi).

Există organite celulare care nu sunt delimitate de endomembrane (microtubuli, microfilamente, ribozomi), ceea ce înseamnă că ele se află într-un permanent proces de polimerizare – depolimerizare. Altele, în schimb, apar ca fiind delimitate de endomembrane (mitocondrii, cloroplaste, peroxizomi, reticul endoplasmatic, aparat Golgi).

Ansamblul format de reticulul endoplasmatic, aparatul Golgi şi învelişul nuclear se constituie în aşa numitul sistem ale endomembranelor, sistem care sugerează continuitatea structurală şi funcțională a celor trei entități celulare. Pe lângă conexiunile strânse dintre cele trei organite, există şi conexiuni care se

creează între acest sistem şi alte organite celulare, inclusiv cu membrana celulară, respectiv cu mediul extracelular.

În general, organitele delimitate de endomembrane conțin în structura membranelor lor enzime, dintre care unele caracteristice numite enzime marker, care pot fi evidențiate şi "*in situ*" prin tehnici histochimice. Astfel, lizozomii au ca enzime marker fosfataza acidă, peroxizomii au catalaza, iar reticulul endoplasmatic, glucozo-6-fosfataza.

Citoplasma ca teritoriu celular aflat între plasmalemă şi învelişul vacuolar (tonoplast) reprezintă sediul organitelor celulare. În această masă transparentă, considerată pe bună dreptate substanța fundamentală a celulei, se află în stare de suspensie, alături de organitele celulare şi o serie de incluziuni ergastice (celulare).

Incluziunile celulare se referă la produşii metabolismului care se acumulează în citoplasmă şi care găsesc în acest spațiu un loc de depozitare temporară sau definitivă. Aceste depuneri sau incluziuni pot fi de diferite tipuri: glucide, lipide, proteine, pigmenți, cristale sau cristaloizi. De regulă, glucidele se depun sub formă de amidon, iar lipidele apar sub formă de picături de diferite mărimi, de obicei sferice. Prezența lipidelor sub formă de picături mici indică o celulă foarte activă, cu un mare turnover metabolic.

În citoplasmă, alături de organite şi incluziuni celulare există formațiuni nedelimitate de membrane şi care din această cauză se află într-un permanent proces de polimerizare–depolimerizare. Este vorba de microfilamente şi microtubuli care datorită legăturii lor de membrana celulară, contribuie la formarea **citoscheletului** (fig.1.2, HOPSON şi WESSELLS, 1990).

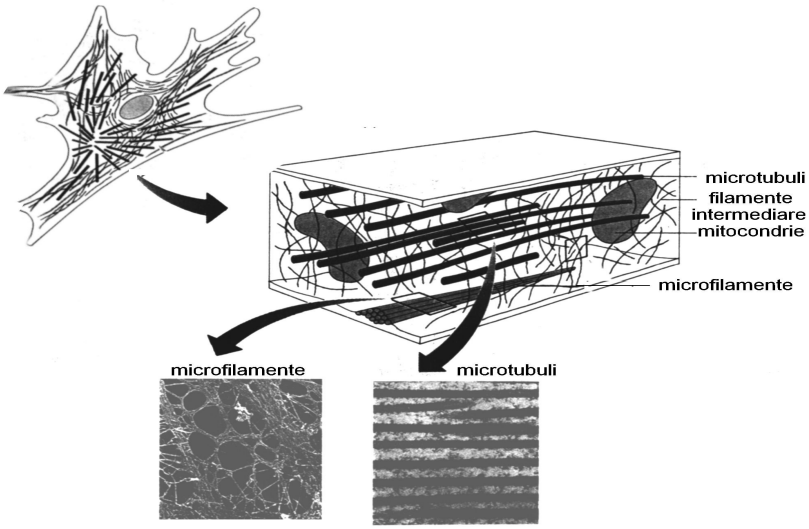


Fig. 1.2. Citoscheletul celulei

Rețeaua citoscheletului este formată din lanțuri polipeptidice de proteine, legate între ele în diferite moduri (punți de hidrogen, forțe Van der Waals), această rețea fiind cunoscută şi sub numele de hialoplasmă.

Hialoplasma se referă la masa filamentoasă polipeptidică omogenă care rămâne în celulă după eliminarea organitelor. Derularea proceselor fiziologice din celulă se află sub amprenta raportului care există între substanțele electrolitice şi cele neelectrolitice din hialoplasmă. Astfel, dacă în hialoplasmă proteinele globulare sunt predominate, hialoplasma va avea o consistență fluidă iar dacă predominante vor fi proteinele filamentoase, hialoplasma va avea un statut vâscos.

1.4.1. Mitocondriile

Funcția organitului:

- este considerat rezervorul energetic al celulei la nivelul căruia are loc producerea, transformarea şi stocarea energiei necesare tuturor fenomenelor vitale. Energia se realizează, în principal, prin acțiunea enzimelor oxido-reducătoare aflate în mitocondrii, dar şi prin procesul fosforilării oxidative care se desfăşoară tot la nivelul acestor organite;
- acest centru respirator al celulei dispune acumularea energiei la nivelul grupărilor macroergice fosfatice (ATP) care sub acțiunea ATP-azei vor pune în libertate energia pe care o conțin şi care ulterior va servi la desfăşurarea tuturor proceselor vitale celulare;
- substanțele organice complexe care trec din citoplasmă în interiorul mitocondriei, se degradează sub influența enzimelor respiratorii, iar după un lung şir de reacții de oxido-reducere se vor transforma în combinații chimice mai simple, accesibile astfel consumului celular;
- faptul că intervalul de viață al mitocondriilor este extrem de scurt (8 zile) este compensat de reacțiile complexe care au loc în interiorul lor, reacții catalizate de enzime a căror repartiție este foarte mare; peste 50% din enzimele unei celule se află localizate în mitocondrii.

Arhitectura internă şi externă (fig.1.3, HOPSON şi WESSELLS, 1990). Conformația sa specifică facilitează recunoaşterea sa față de celelalte organite celulare prezente în citoplasmă, mitocondria fiind alcătuită din:

- membrana externă netedă;

- membrana internă prevăzută cu criste mitocondriale;
- spațiul extern cuprins între cele două membrane;
- spațiul intern sau matricea mitocondrială dispusă în interiorul membranei interne şi a cristelor.

Membrana externă netedă, este o formațiune lipoproteică în care proteinele se află într-o proporție de 60%, comparativ cu procentul de lipide (40%). Această proporție face ca membrana externă să fie permeabilă, prin ea realizându-se schimburile dintre citoplasmă şi organit. Pe această membrană îşi desfăşoară activitatea o serie de enzime (CoA-ligaza, sistemul $NADH_2$ - citocrom c – reductaza), ea putând fi detaşată de restul organitului, în urma tratamentului cu lugol.

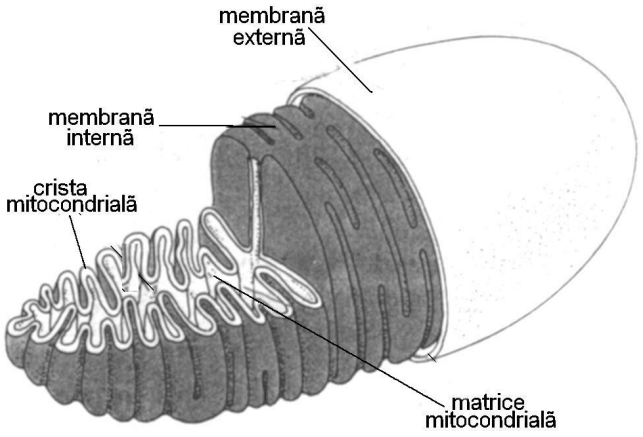


Fig. 1.3. Mitocondria

Membrana internă prevăzută cu criste mitocondriale, este o formațiune lipoproteică în care proteinele se află în proporție de 80%, față de procentul de lipide (20%), ceea ce îi conferă un statut mai puțin permeabil, comparativ cu membrana externă. Prin ea, trec spre spațiul intern ionii necesari activității enzimatice, molecule de ADP şi ATP, acizi graşi şi aminoacizi care sunt transportați de proteine localizate în acest spațiu şi care joacă rolul unor transportori sau purtători.

Cristele mitocondriale sunt structuri care aparțin membranei interne şi care se prelungeşte prin ele, de aşa manieră încât formează adevărați pereți despărțitori în sens perpendicular, pe axa lungă a mitocondriei. Rolul acestor pereți este acela că măresc foarte mult suprafața internă a mitocondriei.

Suprafața cristelor este prevăzută cu particule sferice numite **oxizomi** unde se află enzimele care catalizează reacția de fosforilare a ADP (acid adenozindifosforic) în ATP (acid adenozintrifosforic).

Spațiul extern al mitocondriei repartizat între cele două membrane este deosebit de activ, la nivelul său având loc schimburi continue între mitocondrie şi citoplasmă, prin intermediul membranei externe. În cazuri patologice, în acest spațiu se depun materiale anorganice, care obturează parțial sau total acest compartiment, având drept consecință alterarea funcției mitocondriei.

Spațiul intern sau matricea mitocondrială apare, în general, omogenă, fiind formată din proteine structurale, enzime oxido-reducătoare care facilitează derularea ciclului lui Krebs, enzime implicate în metabolismul aminoacizilor, acizi nucleici mitocondriali care se prezintă sub formă de ARN mitocondrial şi ADN mitocondrial, vitamine, ioni etc.

Replicarea moleculei de ADN-mit. nu este sincronă cu replicarea ADN-lui nuclear şi nu este continuă. De asemenea, sinteza ADN-ului mitocondrial este mai lentă şi independentă de cea a ADN-lui nuclear.

Compoziția chimică. Mitocondria este formată din 65-70% proteine (structurale 30% şi enzime 70%), 25% lipide (fosfolipide), 0,5% ARN, o cantitate mică de ADN, glucide, ioni în diferite concentrații, vitamina C şi apă. Într-o mitocondrie toate proteinele şi lipidele sunt înlocuite la aproximativ 20 de zile.

Datorită prezenței acizilor nucleici în mitocondrie, organitul posedă o parțială autonomie genetică, fiind capabil astfel să-şi sintetizeze singur, fără ajutorul nucleului unele proteinenzime (citocromoxidaza). Prin urmare, mitocondria foloseşte un cod genetic diferit de cel nuclear (DICULESCU şi DOINA ONICESCU, 1983).

Dimensiunea, numărul şi poziția organitului. Dimensiunea mitocondriei variază de la o celulă la alta, cu specificarea că organitul este mai mare în cazul celulelor mai active şi mai mic în situația celulelor aflate în repaus. În general, se consideră că aceste organite în formă de țigară sunt lungi de 1-5 μ (1μ = 10^{-4} cm = 0,001 mm), având diametrul de 0,5-1 μ.

Se apreciază că există celule care posedă o singură mitocondrie dar şi celule la nivelul cărora s-au identificat peste 700 de asemenea organite. Ele sunt mai numeroase în frunze şi tulpini, mai puține în rădăcini, ceea ce face ca această repartiție să constituie un criteriu de apreciere al activității funcționale a plantelor.

Poziția mitocondriilor în celulă se leagă de acele zone în care activitatea metabolică este mai intensă.

Originea. În celule, mitocondria se reînnoieşte continuu, organitele ieşite din funcție fiind îndepărtate prin autofagie, cu ajutorul lizozomilor. Alte noi

mitocondrii apar prin clivaj sau despicare, o mitocondrie funcțională dând naştere la alte două organite asemănătoare.

1.4.2. Cloroplastele

Funcția organitului:

- este implicat în cel mai important proces fiziologic, fotosinteza, care presupune transformarea energiei luminoase (solare), în energie chimică de tipul glucidelor, proces la care participă sisteme enzimatice specifice, care lipsesc din mitocondrii sau alte organite celulare;
- aceste organite care lipsesc la celulele animale, fiind prezente numai în celulele vegetale, la nivelul tuturor organelor verzi ale plantelor, dispun de un aparat molecular unic care converteşte energia luminoasă într-un tip de energie accesibil utilizării celulare. Dacă în faza de lumină a fotosintezei se generează molecule ATP din ADP, molecule NADP-redus din NADP-oxidat şi molecule de oxigen din apă, în faza de întuneric a fotosintezei se transformă bioxidul de carbon în hidrat de carbon, folosindu-se molecule de ATP şi NADP-redus formate prin reacțiile enzimatice desfăşurate la lumină;

Arhitectura internă şi externă. Cloroplastul are o arhitectură asemănătoare cu a mitocondriei.

Cloroplastul este alcătuit din (fig.1.4, HOPSON şi WESSELLS, 1990):

- membrană dublă care la exterior prezintă o foiță netedă iar la interior o foiță cutată care dă naştere la criste sau pliuri dispuse paralel cu axa lungă a organitului;
- stroma sau matricea cloroplasmatică;
- formațiuni discoidale care formează pachete compacte numite grane.

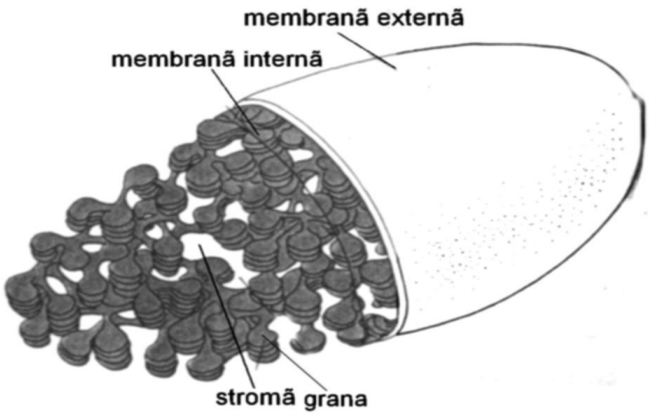


Fig. 1.4. Cloroplastul

Faptul că membrana externă şi stroma cloroplastului sunt incolore prezintă o semnificație fiziologică deosebită, deoarece permite trecerea luminii până la moleculele de clorofilă, ceea ce facilitează derularea procesului fotosintetic.

Stroma este masa fundamentală care este lipsită de pigmenți asimilatori şi care conține picături lipidice, granule de amidon şi lamele numite **tilacoide**. Ele străbat spațiul intern al cloroplastului, au o dispunere paralelă cu axa lungă a acestuia şi rămân într-o legătură permanentă cu membrana internă care le-a format.

Pe tilacoidele stromei se constată prezența unor entități numite **grane** care conțin pigmenții asimilatori. Conformația granelor se recunoaşte uşor având în vedere faptul că seamănă cu fişicurile de monede.

O grană este alcătuită dintr-un teanc de discuri lipoproteice (8-20) circulare şi suprapuse. Pe discurile granei sunt localizate moleculele de clorofilă, apreciindu-se că pe o singură lamelă ar exista fixate circa un milion de molecule de clorofilă.

Din complexul creat între clorofilă şi membranele lipoproteice ale granei se formează entități eliptice sau sferice, cu diametrul de 90Å, numite **cuantozomi**. Aceştia funcționează asemeni unor fotoreceptori întrucât modul lor de orientare spațială permite pătrunderea mai uşoară a cuantelor de lumină.

Compoziția chimică. În ceea ce priveşte compoziția chimică, cloroplastele conțin: apă, proteine (60%), lipide (30%), enzime, clorofile (5-10%), carotenoide (1%), vitaminele K şi E, ioni de Mn^{++}, Mg^{++}, Zn^{++}, Fe^{++}, P^{+++} şi o cantitate mică de acizi nucleici (AND şi ARN). Dintre enzimele prezente menționăm NADP, citocromi, oxidaze, peroxidaze şi hidrolaze. Ribozomii prezenți sunt mai mici decât cei din citoplasmă, fiind aranjați în stromă sub formă de lanțuri.

Dimensiunea, numărul şi poziția organitului. Cloroplastele se prezintă ca fiind cele mai mari organite ale citoplasmei (2-7 μ) şi având un diametru cuprins între 0,5-4,0 μ. La celulele tinere în formare, aceste organite sunt mai mici, mai puține la număr, crescând în dimensiune şi număr pe măsură ce celula se măreşte. De la specii care dispun de 15 cloroplaste/celulă (sfeclă, trifoi), se întâlnesc şi specii cu peste 100 cloroplaste/celulă (tutun, spanac).

Poziția organitelor în intimitatea celulară ține de intensitatea luminoasă la care sunt expuse şi de posibilitatea cea mai bună de captare a acesteia. Astfel, dacă lumina este difuză, cloroplastele se dispun relativ uniform în celulă iar dacă intensitatea luminoasă este mare, ele se retrag la umbra pereților celulari, în vederea protejării împotriva fotooxidării.

Originea. Ele iau naştere la lumină, prin transformarea proplasti-delor în următoarea succesiune: proplastide → leucoplaste → cloroplaste → cromoplaste.

1.4.3. Ribozomii (Granulele lui Palade)

Funcția organitului:

- cunoscuți şi sub denumirea de granulele lui Palade, după numele medicului român care le-a descoperit, ribozomii sunt implicați în sinteza proteinelor;
- procesul de sinteză al proteinelor este declanşat prin acțiunea acizilor nucleici, cu ajutorul ATP-ului, care determină unirea aminoacizilor în lanțuri polipeptidice. Aminoacizii sunt transportați de ARN-t iar ordinea lor de aranjare în molecula proteică este determinată de ARN-m, care vine din nucleu în citoplasmă cu informația genetică transmisă de ADN nuclear.

ARN-m joacă rolul de tipar, pe care se asamblează aminoacizii într-o anumită ordine, iar ADN şi ARN controlează direct din nucleu activitatea ribozomilor. ARN-t după ce a asigurat transportul aminoacizilor aflați în diferite părți ale citoplasmei, imediat după asamblarea lor în lanțuri polipeptidice, este pus în libertate, ceea ce îi creează posibilitatea reluării procesului de proteosinteză cu un alt set de aminoacizi.

- tipul de proteine sintetizate ține de tipul de grupare ribozomală care funcționează la momentul respectiv. Astfel, proteinele de structură sunt sintetizate de poliribozomi (ribozomi cuplați printr-o moleculă de ARN-m), iar proteinele de export (enzime, hormoni) sunt sintetizate de ribozomii ataşați de membranele reticulului endoplasmatic.

Arhitectura internă şi externă (fig.1.5, HOPSON şi WESSELLS, 1990). Ribozomul este format din două subunități inegale ca dimensiune şi anume:

- subunitatea mare, de formă sferoidală;
- subunitatea mică, de formă alungită.

Când în citoplasmă se modifică concentrația unor ioni, cele două subunități se separă, rezultatul constând în disocierea granulei ribozomale.

În situația în care crește concentrația ionilor de Mg^{2+} din citoplasmă, ribozomii se agregă în formațiuni numite polimeri (di-, tri- etc.), la care nu s-a constatat încă prezența unei funcții speciale.

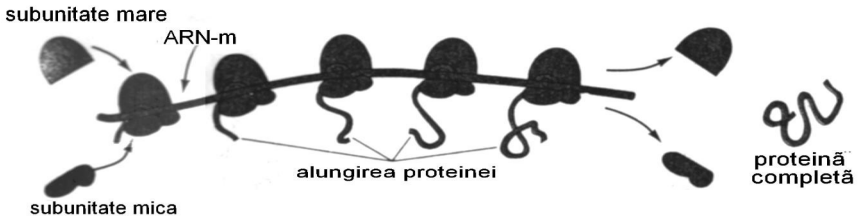


Fig. 1.5. Ribozomii şi construcția proteinei

În momentul sintezei proteinelor, în celulă apare o grupare ribozomală funcțională, cunoscută sub numele de poliribozomi sau polizomi. Molecula de ARN-m înşiră ribozomii asemeni mărgelelor pe ață, trecând prin fiecare granulă ribozomală, între subunitatea mică şi cea mare a acesteia. După ce proteina a fost sintetizată, lanțul polizomal se rupe, ARN-m se desface, iar ribozomii se dispersează în citoplasmă.

Compoziția chimică. Ribozomii conțin ARN şi proteine, ambele în părți egale, cantități mici de apă şi o serie de ioni (Mg^{++} şi Ca^{++}). Proteinele ribozomale sunt de tipul histonelor şi conțin mari cantități de arginină, acid aspartic şi acid glutamic. S-au detectat în ribozomi şi o suită de enzime implicate în fotosinteză şi proteosinteză.

Dimensiunea, numărul şi poziția organitului. Diametrul subunității mari a ribozomului este de 30 nm iar cel al subunității mici este de 10-20 nm.

În protoplasma celulelor vegetale, ribozomii se găsesc sub formă liberă sau ataşați de peretele exterior al reticulului endoplasmatic sau de suprafața externă a membranei nucleare. În stare liberă ei se întâlnesc şi în interiorul unor organite (cloroplaste şi mitocondrii).

Originea. ARN-ul ribozomal se sintetizează în nucleol, la nivelul moleculelor de ADN nuclear, sub forma unui precursor de ARN-r.

1.4.4. Reticulul endoplasmatic (R.E.)

Funcția organitului:

Având în vedere faptul că există două tipuri de reticul endoplasmatic, neted şi rugos, funcțiile pe care le prezintă acestea sunt comune, dar şi diferențiate. Funcțiile comune se referă la următoarele aspecte:

- au un rol mecanic, R.E. fiind considerat un suport intracitoplasmatic atât pentru organitele celulei cât şi pentru menținerea formei celulei, luată ca ansamblu;
- joacă rolul unor sisteme microcirculatorii intracitoplasmatice care vehiculează, în permanență, substanțe în toată citoplasma şi în mod direct unor structuri celulare (aparat Golgi şi spațiu perinuclear);
- permit schimburi active pe porțiuni foarte mari în celulă iar membranele lor prezintă o permeabilitate selectivă.

Funcțiile specifice R.E. rugos se materializează în implicarea lui în sinteza proteinelor dar şi în sinteza unor fosfolipide şi glicoproteine. Funcțiile specifice R.E. neted se referă la implicarea lui în sinteza lipidelor, în metabolismul glucidelor dar şi în contribuția sa în evitarea detoxificării celulare cu ajutorul unor enzime localizate în membranele lui.

Arhitectura internă şi externă (fig.1.6). R.E. se constituie într-o rețea densă de canale şi canalicule tubulare, simple sau ramificate care leagă între ele vezicule pline cu lichid (vacuole) de diferite cisterne (dictiozomi) sau alte formațiuni intracelulare.

Sistemul canalicular este dinamic, în sensul că se lărgeşte rezultând vezicule şi cisterne de diferite mărimi, se retractă sau se poate fragmenta, având ca rezultat formarea de vezicule şi cisterne izolate.

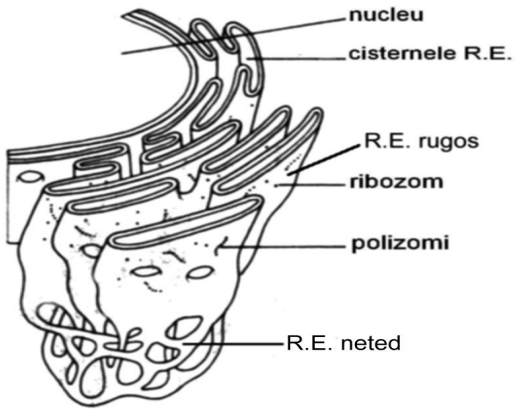


Fig. 1.6.
Reticulul endoplasmatic

La suprafața unei părți a R.E. se găsesc ataşate particule elipsoidale lungi de 150Å (1Å = Ångstrom = 10^{-8}cm = 1/10.000.000 mm = 1/10.000 μ) care se numesc ribozomi sau granulele lui Palade. Partea de R.E. asociată cu ribozomii se numeşte **ergastoplasmă** sau plasmă lucrativă. În acelaşi timp, ribozomii pot exista şi liberi. Fie că sunt uniți cu ergastoplasma, fie că sunt liberi, ribozomii se pot asocia cu ajutorul unei molecule de acid ribonucleic, câte 4-50, formând polizomii; funcția lor în celulă este de a fi sediul procesului de sinteză a proteinelor.

R.E. este mărginit de o membrană plasmatică continuă, iar la nivelul plasmodesmelor, elementele lui constructive trec prin peretele celular asigurând astfel continuitatea dintre celule.

Membranele R.E. permit pătrunderea moleculelor, a ionilor şi ATP-ului în interiorul canaliculelor, facilitând totodată ieşirea produşilor metabolici afară din citoplasmă. Pe membranele R.E. îşi găsesc suport şi un număr mare de enzime celulare.

Compoziția chimică. Ambele tipuri de R.E. conțin 60% proteine (structurale, proteinenzime şi hormoni) şi 40% lipide.

Dimensiunea, numărul şi poziția organitului. Întrucât rețeaua de canalicule a R.E. străbate protoplasma celulară este foarte greu de aproximat dimensiunea şi numărul sistemului canalicular. Dacă la celulele meristematice, R.E. este slab dezvoltat, în cazul celulelor secretoare, sistemul canalicular prezintă o mare amplasare şi ocupă o bună parte din citoplasmă.

Originea. Nu este stabilită definitiv originea acestui organit, dar se consideră că ar lua naştere fie din membrana nucleară, fie din expansiunea membranelor preexistente ale R.E.

1.4.5. Dictiozomii (Aparatul Golgi)

Funcția organitului:

- joacă rolul unei stații de reînnoire a endomembranelor, sub denumirea de sistem al endomembranelor înțelegându-se ansamblul format din reticulul endoplasmatic, învelişul nuclear şi aparatul Golgi, formațiuni aflate în continuitate structurală şi funcțională. Acest sistem stabileşte conexiuni temporare şi cu alte organite celulare (mitocondrii, peroxizomi, vacuole), inclusiv cu mediul extracelular;

- intervine activ în procesul de secreție intracelulară. Astfel, produşii secretați de R.E. rugos ajung prin intermediul microveziculelor detaşate de acest organit în aparatul Golgi unde, sunt condensați (concentrați), maturați şi împachetați efectiv. Recunoaştem în microvezicule adevărate suveici care efectuează frecvente deplasări de dus-întors între R.E. şi aparatul Golgi. În final, prin exocitoză, o serie de hormoni, enzime, componente ale endomembranelor şi inclusiv o gamă variată de produşi metabolic inerți, nefolositori celulei vor trece în mediul extracelular;
- contribuie la maturarea lipoproteinelor şi a albuminelor. Lipidele sintetizate de R.E. neted sunt transportate la complexul Golgian, la nivelul căruia se va desfăşura maturarea lor şi complexarea cu proteinele. De aici, împachetate în vezicule secretorii, lipidele vor fi destinate celulei sau spațiului extracelular prin exocitoză;
- participă în sinteza complexelor de hidrați de carbon, prin componenta proteică primită de la R.E rugos care se uneşte cu moleculele de hidrați de carbon de la nivelul structurilor golgiene. Legarea proteinelor de glucide este facilitată de enzime (transferaze) iar glicoproteinele rezultate ajung prin veziculele secretorii golgiene în mediul intra- sau extracelular (fig.1.7, HOPSON şi WESSELLS, 1990).

Arhitectura internă şi externă. Acest organit care reprezintă unitatea morfologică şi de structură a aparatului Golgi, este uşor de recunoscut în intimitatea celulară întrucât seamănă cu un teanc de farfurii concrescute la centru şi a căror margini sunt libere şi uşor îngroşate.

În organizarea aparatului Golgi intră trei elemente componente, toate aceste formațiuni fiind delimitate de membrane groase, cu aspect neted şi fără ribozomi ataşați pe suprafața lor:

- pachete de saculi turtiți aşezate sub formă de stivă (5-30);
- microvezicule;
- macrovezicule.

Din saculii maturi se desprind mereu vezicule secretorii care se deplasează prin citoplasmă vărsându-şi în final conținutul în membrana pectocelulozică a celulei. Prin urmare, macroveziculele iau naştere din dilatațiile laterale ale saculilor golgieni, care se desprind şi se individualizează.

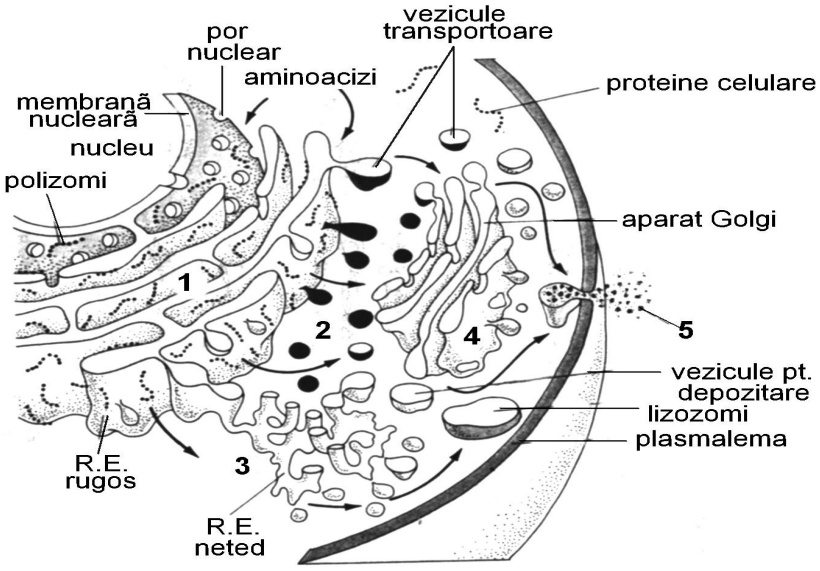


Fig. 1.7. Aparatul Golgi şi traseul
transportului intra- şi intercelular a produşilor elaboraţi

Compoziţia chimică. Aparatul Golgi constituit din totalitatea dictiozomilor prezenţi într-o celulă, are o compoziţie chimică asemănătoare membranei reticulului endoplasmatic. La nivelul acestui organit s-au detectat proteine de structură (60%) şi proteinenzime, iar în proporţie de 40% lipide. În cantităţi mici se află şi o serie de vitamine (A şi K).

Dimensiunea, numărul şi poziţia organitului. Este greu de apreciat numărul şi dimensiunea dictiozomilor datorită construcţiei proprii, de adevărate reţele vii de canalicule şi vacuole. În ceea ce priveşte poziţia lor în celulă, aceasta este în apropierea reticulului endoplasmatic şi a nucleului.

Originea. Relaţiile strânse dintre acest organit şi R.E. sunt o dovadă certă a faptului că structurile golgiene iau naştere din membranele preexistente ale reticulului. Nucleul influenţează indirect formarea dictiozomilor şi anume, prin controlul asupra sintezei proteinelor specifice endomembranelor.

1.4.6. Lizozomii

Funcţia organitului:

- este responsabil de digestia intracelulară iar materializarea acestei activităţii este reflectată de două procese complexe numite heterofagie şi autofagie;

- **heterofagia** este procesul de digestie intracelulară a substanțelor nutritive, a bacteriilor şi virusurilor. Prin urmare, acest proces este legat de activitatea de nutriție a celulei dar şi de mecanismele de apărare ale acesteia. Particulele extracelulare sunt antrenate de membrana celulară sau de plasmalemă care formează un buzunăraş la nivelul căruia se depozitează aceste particule. Ulterior, acest spațiu de depozitare se detaşează formând o vacuolă delimitată de o porțiune a membranei celulare sau a plasmalemei numită fagozom (particule fără fluid) sau pinozom (particule în faza fluidă). Mişcările citoplasmei vor antrena vacuola spre interiorul celulei, unde întâlnind lizozomul va fuziona cu acesta, formând o singură vacuolă digestivă, delimitată de o membrană unică. În interiorul vacuolei proaspăt inițiate, enzimele hidrolitice încep procesul de digerare a produşilor, ceea ce va da naştere la molecule mici de proteine şi lipide care traversând membrana vacuolei, vor fi puse la dispoziția celulei;
- **autofagia** este procesul de digestie intracelulară a organitelor celulare aflate în diferite grade de dezintegrare. Vacuola ce conține organitele dezintegrate se numeşte autozom iar unirea sa cu lizozomul va facilita descompunerea materialului până la nivelul celor mai simple substanțe, care puse ulterior la dispoziția celulei vor putea fi utilizate în edificarea noilor structuri.

Arhitectura internă şi externă. Lizozomii sunt formațiuni cito-plasmatice veziculare delimitate la exterior de o membrană lipoproteică simplă, care protejează o stromă densă.

În funcție de angajamentul lor în activitatea funcțională a celulei, există lizozomi primari şi lizozomi secundari. Cei primari sunt lizozomii tineri care au o durată de viață scurtă (24-48 ore). Ei nefiind angajați în activitate, se recunosc uşor având talia mică, matricea omogenă şi un set incomplet de hidrolaze acide.

Lizozomii secundari sunt funcționali, au o activitate enzimatică digestivă, iar durata lor de viață este mai lungă (câteva săptămâni). Se recunosc uşor întrucât au o talie mai mare şi posedă un set enzimatic complet, fapt ce le dă posibilitatea să participe activ în digestia intracelulară.

Compoziția chimică. Lizozomii conțin în cantități reduse proteine de structură, lipide şi glicolipide iar în cantități mai mari, enzime hidrolitice acide din care fac parte: proteazele, peptidazele, nucleazele, fosfatazele, lipazele şi glucozidazele.

Hidrolazele acide lizozomale sunt reținute în interiorul organismului de membrana lizozomală care este impermeabilă şi care se opune trecerii lor în

citoplasmă. Există situații când datorită unor agenți toxici, chimici sau fizici, membrana lizozomală se rupe, ceea ce atrage după sine liza urmată de moartea celulei respective. Datorită apariției unor asemenea situații, lizozomii au fost denumiți şi "sacii de sinucidere" ai celulei.

Dimensiunea, numărul şi poziția organitului. Diametrul lizozomilor este variabil, situându-se între 0,25-0,8 microni. De formă aproximativ sferică, se consideră că aceste organite au dimensiuni mai mici decât mitocondriile şi mai mari decât ribozomii.

În mod obişnuit, lizozomii se poziționează în jurul mitocondriilor din celulă, iar produşii de hidroliză rezultați sunt ulterior exploatați de către mitocondrii în procesul de respirație.

Originea. Lizozomii îşi au originea în reticulul endoplasmatic, în elementele aparatului Golgi şi membrana nucleară.

1.4.7. Peroxizomii

Funcția organitului:

- cunoscut şi sub denumirea de glioxizom deoarece în cotiledoanele plantelor ce depozitează lipide el conține enzime participante la ciclul glioxilat (ciclul Krebs modificat), acest organit intervine activ în metabolismul apei oxigenate (H_2O_2). Intervenția sa este salutară întrucât este cunoscut faptul că acest produs dacă se acumulează în cantități mari, este deosebit de toxic pentru organismul vegetal;
- au rol important în termogeneză, producând căldură şi adaptarea la frig.

Arhitectura internă şi externă. Indiferent de statutul pe care îl au, de entități sub formă de vacuole sferice sau ovoidale, uneori de entități cu forme neregulate prevăzute cu prelungiri, peroxizomii sunt constituiți din:

- endomembrană;
- matrice fin granulară;
- cristaloid.

Endomembrana sa se află în continuitate cu membrana R.E. neted existând şi situații când se observă o continuitate peroxizom-peroxizom, ceea ce va determina formarea aşa numitului reticul peroxizomal, diferit de R.E.

Cristaloidul este format din mănunchiuri paralele de tubuli denşi, care în secțiune transversală dau imaginea unui fagure de miere.

Compoziția chimică. Peroxizomii conțin proteine, lipide şi enzime speciale: catalaza, uratoxidaza, enzimele ciclului glioxilat etc. Aceste enzime diferă ca număr şi specificitate de la un organit la altul.

Dimensiunea, numărul şi poziția organitului. Diametrul organi-tului este situat între 0,1-1,5 microni. În celule, după talie se deosebesc două categorii de peroxizomi: macroperoxizomi (0,5-1,5 μ în diametru) şi microperoxizomi (0,1-0,4 μ în diametru).

Numărul peroxizomilor diferă de la un tip celular la altul şi în aceeaşi celulă, în funcție de momentul ei de activitate.

Localizarea sa în citoplasmă este, de regulă, în apropierea R.E.

Originea. Peroxizomii iau naştere din R.E. şi complexul Golgi, prin dilatarea şi desprinderea anumitor părți terminale ale cisternelor acestora.

1.4.8. Nucleul

Funcția organitului:

- îndeplineşte o funcție dublă, de stocare a informației genetice şi de centru de control a activității celulare, funcționând asemeni unui computer chimic prevăzut cu un program (ADN) şi memorie (ARN);
- în calitate de centru informațional, nucleul coordonează toate reacțiile chimice legate de desfăşurarea proceselor vitale, prin controlul sintezei proteinelor, iar în calitate de centru de control, nucleul urmăreşte organizarea celulei prin controlul sintezei proteinelor de structură;
- în fluxul informațional există trei puncte cheie în care intervine activ nucleul, şi anume: replicarea ADN-ului, transcripția ARN-ului şi traducerea mesajului genetic. Autoreplicarea şi transcripția se efectuează, în nucleu, iar traducerea mesajului genetic se desfăşoară în citoplasmă, la nivelul ribozomilor;
- participă şi la derularea altor procese, cum ar fi: reglarea formării moleculelor enzimatice; dirijarea formării membranei celulozice; asigurarea valorii tampon a protoplasmei împotriva modificării pH-ului; regenerarea şi cicatrizarea rănilor etc.

Arhitectura internă şi externă. Nucleul în care recunoaştem corpusculul cel mai dens al citoplasmei, este alcătuit din:

- membrana nucleară;
- plasma nucleară sau carioplasma;

- cromatină sau cromozomi;
- nucleoli

Membrana nucleară este o endomembrană dublă de natură lipoproteică care compartimentează fluxul informațional genetic al celulei în două compartimente: cel nuclear în care se realizează replicarea ADN-ului, transcripția şi prelucrarea ARN-ului şi cel citoplasmatic în care are loc traducerea mesajului genetic, prin sinteza proteinelor la nivelul ribozomilor.

Membrana nucleară dublă, din loc în loc, prezintă raporturi de discontinuitate, fapt materializat prin prezența unor orificii circulare numite pori, care facilitează traversarea din citoplasmă în nucleu şi invers a proteinelor, nucleoproteinelor, apei şi a substanțelor organice.

Membrana externă a nucleului are pe frontul citoplasmatic ataşați ribozomi, ceea ce îi conferă acesteia un contur mai flexibil, iar de membrana internă a nucleului se ataşează strâns cromatina, ceea ce îi conferă acesteia un contur rigid. Cele două membrane ale nucleului separă un spațiu transparent.

Densitatea mare a membranei nucleare se datorează compoziției sale ridicate în proteine şi conținutului scăzut în lipide. La nivelul membranei lipoproteice s-au detectat şi o gamă variată de enzime care se regăsesc şi în reticulul endoplasmatic, cu excepția citocromoxidazei.

Plasma nucleară sau carioplasma, joacă un rol esențial în organizarea nucleului, în sinteza de ADN sau ARN şi în medierea semnalelor hormonale. La nivelul carioplasmei se află nucleoli, filamente de cromatină, ioni minerali (Ca^{++}, K^{+}), enzime şi picături de grăsime.

Cromatina sau cromozomii, sunt două forme de organizare ale unuia şi aceluiaşi material genetic (ADN). Dacă cromatina este forma de existență interfazică, cromozomii sunt forma de existență în timpul diviziunii indirecte.

Din punct de vedere chimic, cromatina este alcătuită din acizi nucleici (ADN, ARN) şi proteine, prin urmare, este o substanță de tipul nucleoproteidelor. Când celula intră în diviziune, cromatina se concen-trează şi se transformă în cromozomi, cu număr caracteristic fiecărei specii în parte.

Funcția principală a cromozomilor este de depozitare a informației genetice, de purtători ai genelor, care asigură transmiterea caracterelor ereditare de la celula mamă la celulele fiice.

Nucleolul este o formațiune intranucleară, prezentă numai în interfază, a cărei funcție principală este biogeneza ribozomilor. Are o poziție cheie în

transferul intracelular al informației, fiind sediul unui considerabil trafic molecular. Se constituie într-un intermediar între cromozomi şi citoplasmă iar rolul său se materializează în sinteza ARN-r, biogeneza ribozomilor, transferul ARN-m în citoplasmă şi pregătirea mitozei.

Compoziția chimică. Din punct de vedere chimic, nucleul este alcătuit din acizi nucleici (ADN, ARN), proteine, ioni minerali (Ca^{++}, K^{+}), lipide şi enzime cu acțiune sintetică şi hidrolitică (esterază, lipază, ribonuclează etc.).

Dimensiunea, numărul şi poziția organitului. Mărimea nucleului este, în general, sub 0,5 μ în diametru. O celulă posedă un singur nucleu, iar forma acestuia urmăreşte forma celulei. Dispunând de un oarecare grad de plasticitate, nucleul poate să aibă şi o formă atipică din cauza unor condiții mecanice intracelulare.

În ceea ce priveşte poziția nucleului în intimitatea celulară, s-a constatat faptul că la celulele tinere nucleul este poziționat central, iar la cele mature se deplasează uşor spre periferia celulei.

1.4.9. Vacuola

Funcția organitului:

- este componenta nevie a celulei care concură la hidratarea acesteia pe baza principiilor osmotice;
- în timpul maturării semințelor, vacuola beneficiază de un statut gelificat şi astfel va reprezenta rezervorul protidic consumat de embrion în timpul germinației semințelor;
- prezența tonoplastului care delimitează la exterior acest rezervor de apă al celulei şi proprietățile acestei membrane plasmatice, determină afinități diferite în ceea ce priveşte trecerea apei, a substanțelor cu moleculă mică şi a substanțelor organice cu molecula mare;
- asigură reținerea substanțelor toxice şi nefolositoare din punct de vedere metabolic.

Arhitectura internă şi externă. Acest constituent citoplasmatic este alcătuit din:

- membrana externă numită tonoplast;
- sucul vacuolar în care substanțele minerale sunt disociate în ioni şi substanțele organice care se află fie dizolvate, fie sub formă coloidală.

Compoziția chimică. Prezența unei game diverse de substanțe minerale, acizi organici (malic, citric, oxalic), uleiuri eterice, glucide (glucoza, fructoza, zaharoza) şi taninuri, conferă sucului vacuolar un pH acid care diferă de cel al citoplasmei, în general, neutru sau slab alcalin.

Vâscozitatea sucului vacuolar este mai mare decât a apei, iar în cadrul celulelor aferente aceluiaşi țesut, variază în funcție de natura substanțelor dizolvate.

Dimensiunea, numărul şi poziția organitului. Inițial, vacuolele sunt mici, ulterior ele se măresc, confluează unele cu altele, iar în final rămâne o singură vacuolă mare. Această situație atrage după sine localizarea vacuolei în centrul celulei şi împingerea protoplasmei spre exterior.

În funcție de vârsta celulei, forma şi numărul vacuolelor diferă foarte mult. La celulele tinere aferente țesuturilor meristematice, vacuolele au formă globuloasă şi dimensiuni extrem de mici.

Originea. Vacuolele celulelor provin din dilatarea reticulului endo-plasmatic.

1.4.10. Membranele plasmatice şi plasmodesmele

Cele două membrane plasmatice (fig.1.8) ale celulei sunt plasmalema şi tonoplastul, prima delimitând citoplasma în imediata vecinătate a peretelui celular, iar cea de-a doua fiind membrana care separă vacuola de conținutul protoplasmatic al celulei. Se numesc membrane plasmatice întrucât ele fac corp comun cu citoplasma, prin urmare, ele nu pot fi detaşate de aceasta.

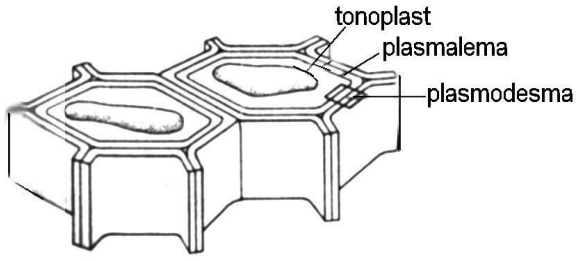


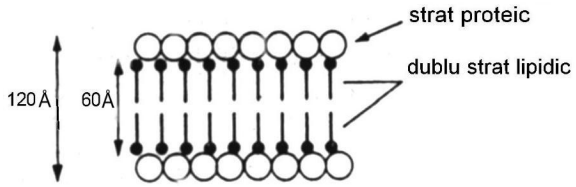
Fig. 1.8. Membranele plasmatice şi plasmodesmele

Plasmalema. Peliculă fină, hialină, rezistentă şi elastică este membrana plasmatică repartizată imediat sub peretele celular. Considerată un strat periferic al citoplasmei, ea are grosimea de 75-80Å. Are o structură trilamelară, constând dintr-o peliculă bimoleculară de lipide (steroli, fosfoaminolipide) care este acoperită pe ambele laturi de câte o peliculă de proteine (fig.1.9).

Dacă lipidele conferă membranei selectivitate, proteinele reprezintă substratul specificității suprafeței celulare.

Lipidele au grupările hidrofobe orientate față în față, iar grupările hidrofile orientate spre structurile proteice. Proteinele au structură globuloasă, formată din lanțuri polipeptidice răsucite în spirală, permițând moleculelor de lipide să pătrundă în interiorul lor.

Fig. 1.9.
Reprezentarea schematică
a structurii plasmalemei



Rolul plasmalemei se materializează pe mai multe direcții. Astfel, permeabilitatea, ca însuşire fundamentală a plasmalemei, permite realizarea funcțiilor vitale ale celulei. Schimbul de substanțe dintre celulă şi mediul extern stă sub amprenta plasmalemei care se comportă asemeni unei membrane semipermeabile. În plus, absorbția şi eliminarea substanțelor se face în mod selectiv, această apreciere fiind dirijată de enzime (permeaza) aflate la suprafața plasmalemei.

Integritatea structurii plasmalemei este dată de reînnoirea continuă prin sinteză a constituenților ce o alcătuiesc. De asemenea, leziunile produse asupra ei se remit imediat.

Tonoplastul provine din dilatarea canaliculului R.E. şi este o membrană plasmatică de natură lipoproteică, semipermeabilă, care delimitează vacuola de citoplasma celulară. Este constituit dintr-un număr dublu de straturi fosfolipoproteice. Prezintă o permeabilitate selectivă mai severă decât plasmalema.

Plasmodesmele sunt diferențieri canaliculare sau microtubulare ale plasmalemei, care traversează peretele celular prin mici orificii numite punctuațiuni (pori) şi care asigură astfel continuitatea citoplasmei între celulele vii ale plantelor. Prin intermediul plasmodesmelor se asigură comunicarea neîntreruptă a celulelor vecine care străbat întregul individ vegetal. Numărul plasmodesmelor este foarte mare, astfel, o singură celulă meristematică se apreciază că se leagă cu celulele vecine printr-un număr de 10.000-20.000 plasmodesme (PÂRVU, 1997).

Ele asigură realizarea unității morfologice şi funcționale a întregului organism vegetal. Prin ele se face transportul unor enzime, hormoni, substanțe pectice dar şi a impulsului rezultat în urma acțiunii unor excitanți, dintr-o parte a plantei în alta.

De asemenea, s-au evidențiat plasmodesme prin care pot trece dintr-o celulă în alta, o serie de organite celulare (ribozomi, plastide, mitocondrii).

1.4.11. Peretele celular (membrana celulozică)

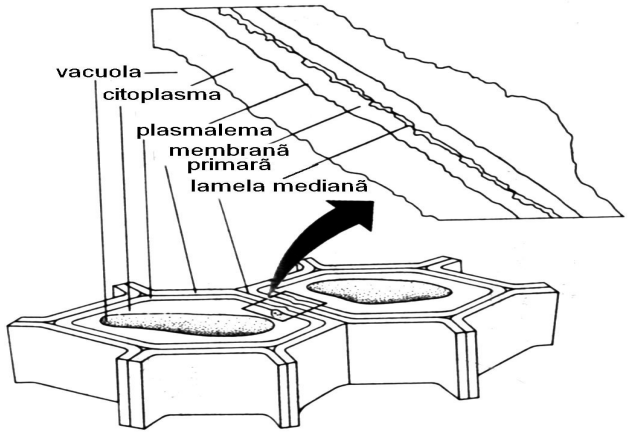
Funcția organitului:

- acest constituent citoplasmatic neviu situat la exteriorul plasmalemei joacă rolul unui schelet pericelular relativ rigid, care împiedică exteriorizarea mişcărilor protoplasmatice;
- prezența peretelui celular conferă celulelor vegetale un statut aparte. Pe de o parte, celula încorsetată în această structură relativ rigidă îşi menține forma iar pe de altă parte, datorită rigidității lor, pereții celulari limitează mobilitatea celulei;
- permite trecerea plasmodesmelor de la o celulă la alta;
- îndeplineşte funcția de protecție a materiei vii întrucât separă protoplasma de apă, în cazul plantelor acvatice, şi de aer, în cazul plantelor terestre;
- constituția sa scheletică joacă rol de susținere mecanică a celulelor şi țesuturilor, a organismului vegetal luat ca întreg;
- permite creşterea celulelor întrucât membrana celulară creşte concomitent cu acestea, în această situație remarcându-se anumite modificări în proprietățile sale de elasticitate şi plasticitate;
- facilitează intrarea şi ieşirea apei din celulă, asigurând circulația acesteia de la o celulă la alta, cu o viteză mult mai mare decât în cazul în care apa trece de la o celulă la alta, prin protoplasmă şi vacuolă.

Arhitectura internă şi externă (fig.1.10, HOPSON şi WESSELLS, 1990). Peretele celular are în structura sa:

- scheletul prevăzut cu pori;
- matricea;
- substanțele de încrustare.

Fig. 1.10. Peretele celular



Scheletul este format din macromolecule de celuloză grupate în micele, microfibrile, macrofibrile şi fibre, el constituind unitatea de bază a peretelui celular. **Matricea** este substanţa fundamentală, de consistenţă moale, formată din hemiceluloze, substanţe pectice, proteine şi lipide, funcţia ei fiind aceea de liant.

Din categoria **substanţelor de încrustare** fac parte: suberina, lignina, cutina, taninul, ceara şi chitina. Prin impregnarea matricei cu aceste substanţe, rezistenţa peretelui celular se măreşte considerabil.

Intercalarea noilor microfibrile de celuloză printre cele vechi existente, facilitează creşterea în suprafaţă a peretelui celular (intususcepţiune), iar suprapunerea noilor pături de celuloză peste cele existente, favorizează creşterea în grosime a acesteia (apoziţie). Când membrana s-a îngroşat până la limita de elasticitate, încetează atât creşterea ei cât şi a celulei respective.

Compoziţia chimică. Analiza chimică a membranelor celulare arată proporţia în care se regăsesc elementele componente: celuloză (34-36%), hemiceluloză (33-42%), lignină (8-20%), cantităţile mai mici aparţinând substanţelor pectice, polizaharidelor necelulozice, proteinelor, cerurilor şi elementelor minerale.

Dimensiunea, numărul şi poziţia organitului. Există un singur perete celular care protejează conţinutul protoplasmatic, localizarea sa fiind în imediata vecinătate a plasmalemei. Elementele de structură ale peretelui celular, respectiv macrofibrilele de celuloză au o grosime de 0,4 μ.

Originea. Geneza peretelui celular se evidenţiază în ultima fază a diviziunii nucleului şi în formare el parcurge trei stadii: primordial, primar şi secundar. Peretele primordial este cunoscut şi sub numele de lamelă mijlocie peste care, în timp, se vor forma peretele primar, secundar şi uneori terţiar (conifere).

Test de autocontrol

1. Care din următoarele organite sunt responsabile de procesul respirator la plante?

   a. cloroplastele
   b. membranele plasmatice
   c. ribozomii
   d. mitocondriile

2. Funcțiile nucleului sunt legate de:

   a. sinteza proteinelor
   b. digestia intracelulară
   c. stocarea informației genetice
   d. hidratarea celulei

3. Compartimentarea celulară facilitează:

   a. derularea, la parametri corespunzători, a reacțiilor fiziologice specifice plantelor
   b. transformarea energiei luminoase în energie chimică
   c. protecția materiei vii în cadrul celulei
   d. descompunerea enzimatică a amidonului

C a p i t o l u l 2
REGIMUL DE APĂ AL PLANTELOR

Regimul de apă al plantelor se referă la ansamblul proceselor de absorbție a apei, din substrat şi din atmosferă, la circulația ei pe traiectul corpului plantelor şi la eliminarea curentului de apă în mediul extern, prin procesele de transpirație şi gutație (fig.2.1).

Plantele au o nevoie absolută de apă; în lipsa ei se ofilesc şi mor. Plantele terestre consumă mari cantități de apă care întrec cu mult orice altă substanță care intră în plante. Astfel, conținutul apei consumate de către o plantă reprezintă, la maturitate, mai mult decât o sută de ori conținutul de apă din corpul acesteia (ATANASIU, 1984). Intensitatea cu care o plantă pierde apa este de o sută de ori mai mare decât intensitatea cu care aceasta absoarbe bioxidul de carbon, aferent derulării fotosintezei.

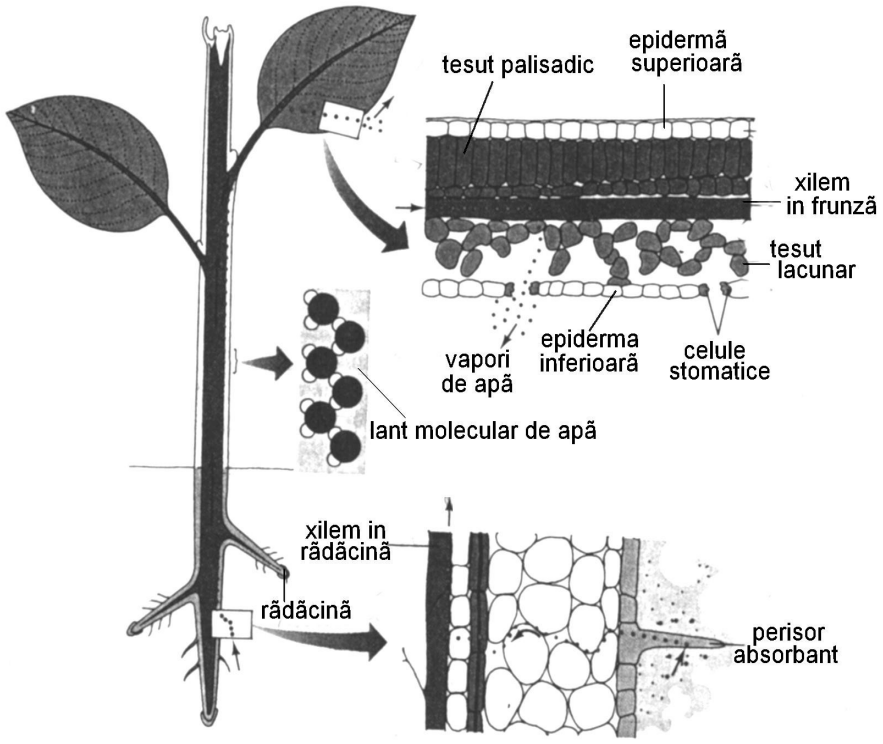


Fig. 2.1. Sistemul sol-plantă-atmosferă

Cea mai mare parte din apa absorbită trece prin plantă şi este eliminată, sub formă de vapori în atmosferă, prin procesul de transpirație. Înlocuirea apei pierdute se realizează prin absorbția unor noi cantități de apă, cu ajutorul rădăcinii şi, în proporție mai mică, cu ajutorul organelor supraterestre.

Absorbția, conducerea şi eliminarea apei formează verigile esențiale ale sistemului care determină balanța apei în plantă. Sistemul sol-plantă-atmosferă este dependent de deficitul de vapori din aer şi de cantitatea de apă disponibilă din sol.

Nici un alt factor nu este mai răspunzător de creşterea plantelor, decât conținutul apei din plante. Prin urmare, controlul şi dirijarea balanței apei în plante sunt esențiale.

2.1. ROLUL APEI ÎN VIAȚA PLANTELOR

În viața plantelor, apa îndeplineşte un rol multiplu şi complex. Prin faptul că apa participă la formarea celulelor şi a țesuturilor, ea are un **rol structural** însemnat. Ea intră în constituția materiei vii ca un component indispensabil.

Apa **asigură transportul unor substanțe** la nivelul compartimentelor plantei; transportă seva brută de la rădăcini spre frunze şi seva elaborată de la frunze spre organele de depozitare.

Stabilind legătura indispensabilă dintre organism şi mediul înconjurător, apa **facilitează absorbția substanțelor anorganice şi organice** din sol în organismul vegetal.

Apa **creează** în organism **mediul necesar reacțiilor biochimice** de hidroliză, hidratare, oxidoreducere etc. Ea furnizează ionii de H^+ şi OH^- necesari menținerii echilibrului acido-bazic, activității enzimatice etc. **Participă** direct **la** realizarea unor **reacții de sinteză şi degradare din plante**.

Având o mare putere de solubilizare, apa determină în organism formarea soluțiilor moleculare şi a celor coloidale.

Prin constanta dielectrică mare, apa **favorizează disocierea ionică** (electrolitică***)*** **a diferitelor substanțe**. De asemenea, ea îndeplineşte un rol important în procesele de termoreglare, în procesele de transpirație şi de eliminare a substanțelor de excreție.

Apa este un element de bază în fenomenul de osmoză şi **concură la realizarea stării de turgescență a celulelor**. Mişcările stomatice sunt o consecință a modificărilor de turgescență iar poziția şi orientarea în spațiu a plantelor se datorează tot aceluiaşi proces.

În procesul fotosintetic, apa rămâne un element de bază, fiind donatorul de hidrogen necesar reducerii carbonului. De asemenea, lumina trece uşor prin apă,

în special radiațiile vizibile, până la 10-12 m adâncime, asigurându-se în acest fel fotosinteza plantelor acvatice, care realizează 90% din întreaga producție vegetală a globului terestru.

Dintre fenomenele fiziologice creşterea este procesul cel mai sensibil la lipsa apei; acest proces încetează la un grad de hidratare care este suficient pentru derularea altor procese fiziologice, respectiv fotosinteza şi respirația.

Alături de lumină şi temperatură, apa joacă un **rol ecologic** însemnat, întrucât determină repartizarea vegetației pe globul terestru. Astfel, în regiunile cu exces de apă cresc plantele hidrofile, în cele cu umiditate potrivită, plantele mezofile iar în regiunile cu umiditate scăzută, cresc plantele xerofile.

Importanța mare a apei pentru organismele vegetale se datorează unor proprietăți fizico-chimice caracteristice, care îi conferă unele particularități de un deosebit interes biochimic. Astfel, apa este o **substanță cu caracter polar**, datorită aranjării atomilor de hidrogen de aceeaşi parte a moleculei. Datorită polarității, între moleculele de apă există o coeziune foarte puternică. Această interacțiune a moleculelor de apă determină punctul de fierbere ridicat al apei, în comparație cu alte lichide, facilitează circulația apei prin vasele lemnoase şi determină acoperirea particulelor coloidale cu un strat de apă.

O altă particularitate se leagă de faptul că apa are o **căldură specifică mare** (căldura necesară pentru a ridica temperatura unui gram cu 1°C); datorită ei temperatura plantelor nu suportă variațiuni bruşte, când temperatura mediului extern variază într-un timp scurt. Ea constituie un mijloc eficace de apărare împotriva frigului.

Apa are, de asemenea, **căldură de vaporizare mare**; ea reprezintă numărul de calorii necesare pentru evaporarea unui gram de apă la 100°C. Din această cauză, când se evaporă apa la suprafața plantelor este nevoie de multă căldură, ceea ce produce răcirea organismului. Această proprietate a apei constituie un **mijloc eficace de apărare împotriva căldurii**.

Apa se găseşte repartizată în organismele vegetale atât extracelular cât şi intracelular sub **două stări**: **lichidă** şi **gazoasă**. În timpul iernii, apa se găseşte uneori în stare solidă, materializată prin prezența cristalelor de gheață.

În constituția corpului plantei, apa lichidă se găseşte sub **două forme**: **apa liberă** şi **apa legată**. Dacă apa liberă îşi păstrează proprietățile obişnuite, apa legată are proprietăți diferite şi nu îngheață nici la -60°C.

Apa din sol provine din precipitații şi, mai puțin, din vaporii de apă din atmosferă. Există mai multe forme de apă în sol: **apa de constituție**, **apa higroscopică**, **capilară**, **peliculară** şi **gravitațională**. Întrucât primele două forme de apă sunt reținute cu forțe foarte mari, de peste 1000 atmosfere în sol, ele rămân inaccesibile pentru plantă.

Cantitatea de apă din organismul vegetal variază cu vârsta, cu starea fiziologică, regiunea geografică, cu intensitatea metabolismului etc. În general, țesuturile tinere conțin o cantitate mai mare de apă decât cele bătrâne. Cantitatea de apă scade, în general, cu vârsta şi aceasta se datorează creşterii conținutului substanțelor organice din celule. Țesuturile fiziologic active conțin o cantitate mai mare de apă decât țesuturile de susținere sau cele de protecție.

Cantitatea de apă din plante depinde, într-o mare măsură, şi de factorii externi. În perioadele de secetă îndelungată plantele se ofilesc, pe când într-un regim normal de precipitații rămân turgescente. Rezerva de apă depinde şi de raportul existent între cantitatea de apă absorbită şi cea eliminată prin transpirație.

Conținutul apei din plante suferă variații în timpul zilelor şi al nopților. Cantitatea de apă scade în timpul zilei şi creşte în timpul nopții, atingând un maxim spre dimineață.

Dintre legumele şi fructele proaspete bogate în apă menționăm: castraveții (95%), pepenii (88%) şi strugurii (79%). Dintre componentele mai sărace în apă menționăm semințele de: grâu (13,4%), floarea soarelui (8,58%), ricin (6,46%). Microorganismele conțin în medie 78% apă, iar plantele lemnoase 40-60%.

2.2. PROCESELE FIZICE IMPLICATE ÎN ACCESUL APEI ÎN PLANTE

Nu există un paralelism între absorbția apei şi a elementelor minerale, fiecare având legi specifice de pătrundere în plante. Apa pătrunde prin procese fizice, respectiv prin osmoză şi imbibiție, sub formă moleculară.

Aspectul fizic al pătrunderii apei în celulă este condiționat de permeabilitatea membranelor plasmatice (plasmalemă şi tonoplast) şi se desfăşoară conform legilor osmozei. Pătrunderea sau ieşirea apei este determinată de gradienții de concentrație ai sucului celular, iar protoplasma celulei se comportă pasiv.

Aspectul fiziologic al pătrunderii apei în celulă presupune consum de energie, eliberată în respirație, ceea ce face ca protoplasma să se comporte activ.

Osmoza este fenomenul fizic de întrepătrundere a două soluții sau gaze miscibile, cu concentrații diferite, separate printr-o membrană poroasă, semipermeabilă, care permite trecerea solventului, dar se opune traversării substanțelor dizolvate (fig.2.2).

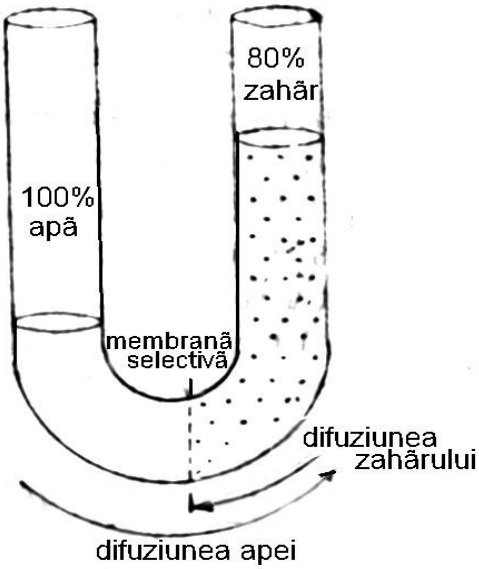


Fig. 2.2. Fenomenul de osmoză

Osmoza are loc întotdeauna de la partea sistemului cu un potențial chimic mai mare (soluția mai diluată) spre aceea cu un potențial chimic mai redus (soluția mai concentrată). Endosmoza va avea loc atunci când apa din soluția externă are un potențial chimic mai ridicat (o disponibilitate de activitate a moleculelor apei mai ridicată, în cazul soluțiilor mai diluate sau a apei pure). Exosmoza va avea loc când apa din soluția internă va avea un potențial chimic mai ridicat (soluția internă va fi mai diluată decât soluția externă).

Potențialul chimic al apei creşte cu presiunea şi scade cu creşterea concentrației soluției, deoarece forța de atracție dintre moleculele apei şi ale substanțelor dizolvate, coboară energia liberă a moleculelor de apă.

Membranele plasmatice ale celulei prezintă semipermeabilitate relativă şi selectivă, întrucât, pe lângă apă, permit şi trecerea unor substanțe dizolvate în ea. Pentru a absorbi apa, celula trebuie să se afle într-un mediu hipotonic (mai diluat) iar sucul său vacuolar să fie hipertonic (mai concentrat). Rezultatul acestei situații se materializează printr-un **curent endosmotic**, adică un curent de pătrundere a apei în celula respectivă. Dacă celula se află într-un mediu hipertonic, adică un

mediu a cărei concentrație este mai mare decât concentrația sucului ei vacuolar, vom asista la un **curent exosmotic**, adică de ieşire a apei din celula respectivă.

Curentul endosmotic implică creşterea volumului celulelor, ceea ce înseamnă că apa a pătruns în vacuolele acestora pe cale osmotică. În această situație, membrana pectocelulozică a celulelor este supusă întinderii (cu 10-100%), iar celula se găseşte în **stare de turgescență**. La punctul de turgescență maximă, endosmoza încetează, chiar dacă sucul vacuolar este încă hipertonic față de soluția externă; datorită rezistenței membranei, celula nu mai poate absorbi apa până la egalarea concen-trațiilor dintre sucul vacuolar şi mediul extern. Există însă şi cazuri când endosmoza continuă peste acest moment, iar celula se sparge şi moare, fenomen numit **citoliză**; situația se întâlneşte după ploi excesive la fructe (cireşe, vişine, tomate, struguri), la grăunciorii de polen şi la unele rădăcini (morcov).

Starea de turgescență a celulelor, rezultat firesc al curentului endosmotic, contribuie la susținerea mecanică a plantelor ierboase; în condiții de deshidratare a țesuturilor, turgescența scade şi frunzele sau planta întreagă se ofilesc.

Curentul exosmotic implică micşorarea volumului celulei şi ulterior, generează desprinderea plasmalemei de membrana proctocelulo-zică a acesteia, fenomen numit **plasmoliză**.

Desprinderea plasmalemei de peretele pectocelulozic al celulei debutează la colțurile acesteia (plasmoliza incipientă) după care avansează din ce în ce mai mult, plasmalema rămânând fixată de perete doar în anumite puncte (plasmoliza concavă). Rezultatul acestei desprinderi treptate se finalizează prin ruperea legăturilor dintre plasmalemă şi suportul rigid al celulei, moment când, conținutul viu al acesteia se dispune în jurul vacuolei (plasmoliza convexă).

Deplasmoliza este supapa de siguranță care intervine în momentul plasmolizei convexe, în sensul că, dacă celula plasmolizată se introduce, la scurt timp în apă, ea poate să revină la starea de turgescență, întrucât celula va absorbi apă, pe cale osmotică, din mediul extern. Dacă starea de plasmoliză convexă se prelungeşte, iar legăturile dintre celulele vecine se întrerup pe timp mai îndelungat, celula nu mai poate să revină la starea de turgescență şi în scurt timp moare.

Plasmoliza şi deplasmoliza sunt procese fiziologice implicate în mecanismul aprovizionării cu apă al celulelor şi au la baza manifestării lor, principii osmotice.

Alături de osmoză, ca proces răspunzător în pătrunderea apei în celulele vegetale, se află şi fenomenul de **imbibiție**, care este un fenomen fizic prin care apa pătrunde în gelurile coloidale ale celulei. Celulele vegetale din țesuturile meristematice care au vacuole foarte mici sau cele prezente în endospermul semințelor uscate, lipsite de vacuole, se aprovizionează cu apă tocmai prin acest proces de imbibiție.

Semințele îmbibate cu apă îşi măresc greutatea şi volumul, prin urmare, putem considera imbibiția ca pe o premisă în declanşarea ulterioară a procesului de germinație la aceste compartimente ale plantei.

Cel mai important rol în legarea apei la nivelul protoplasmei celulare, îl au substanțele proteice (coloizi hidrofili macromoleculari) care rețin apa prin radicalii hidrofili (-NH_2, -NH, -OH, =COOH) şi prin atomii de O şi N din lanțurile peptidice. Dacă semințele de leguminoase, bogate în substanțe proteice, rețin o cantitate de apă de 80-90% din greutatea uscată a semințelor, în schimb, cariopsele cerealelor, mai bogate în amidon, rețin o cantitate de apă mai mică, de numai 20-30% din greutatea lor uscată. Pe măsură ce semințele se îmbibă, forța de absorbție a apei scade, devenind zero la sfârşitul imbibiției.

2.3. ABSORBȚIA RADICULARĂ A APEI

Rădăcina este unul dintre cele trei organe vegetative ale cormofitelor (gr. cormos = trunchi, tulpină), alături de tulpină şi frunze, care îndeplineşte două funcții principale: de fixare a plantei în sol şi de absorbție a apei şi sărurilor minerale. Însă rădăcina poate îndeplini şi alte funcții: de depozitare a materialului de rezervă, regenerare, înmulțire etc.

De regulă, rădăcina are formă cilindrică, simetrie radiară şi creşte vertical, iar spre deosebire de tulpină are un geotropism pozitiv. Morfologic, baza rădăcinii se confundă cu baza tulpinii, dar din punct de vedere anatomic, între ele se distinge o zonă de trecere mai scurtă sau mai lungă, numită colet.

După originea şi funcțiile lor, rădăcinile pot fi grupate în 3 categorii:

- rădăcini normale, care se dezvoltă din radicula embrionului şi îndeplinesc cele două funcții specifice; baza lor se racordează cu baza tulpinii;
- rădăcini adventive, care se formează pe tulpini, ramuri sau frunze;
- rădăcini metamorfozate, care s-au adaptat la alte funcții decât cele specifice, modificându-şi forma şi structura, corespunzător noilor funcții.

Examinând cu atenţie rădăcina unei plantule tinere, distingem 4 zone sau regiuni morfologice: vârful vegetativ, zona netedă, zona piliferă şi zona aspră (fig.2.3, GRINŢESCU, 1985).

Vârful vegetativ sau conul vegetativ al rădăcinii (cca. 260 μm lungime) este zona în care celulele se înmulţesc prin diviziune mitotică, din care cauză are un caracter tipic meristematic.

Examinând mai atent vârful vegetativ al rădăcinii observăm o formaţiune care acoperă şi protejează vârful delicat al rădăcinii, numită **piloriză**, caliptră sau scufie. Datorită frecării de sol, în timpul creşterii rădăcinii, piloriza se uzează dar se reface repede, pe măsură ce rădăcina pătrunde în pământ.

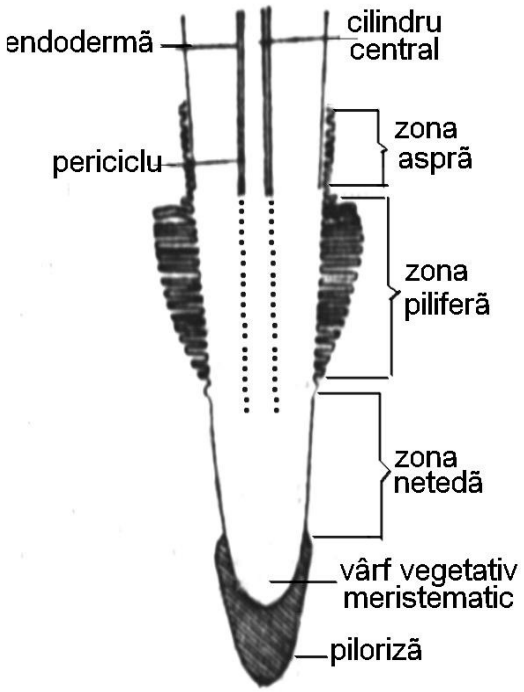


Fig. 2.3. Organizarea vârfului rădăcinii

Piloriza este mai mare la rădăcinile aeriene şi lipseşte la plantele parazite şi unele plante autotrofe (*Aesculus hippocastanum*). La plantele acvifere, piloriza este substituită de o formaţiune mult mai lungă, în forma unui deget de mănuşă, numită **rizomitră**, de altă origine decât piloriza.

Zona netedă, urmează imediat după vârful vegetativ. Este foarte scurtă (5-10 mm) şi corespunde zonei de creştere în lungime a rădăcinii. Celulele sale nu se mai divid, dar cresc prin întindere, mărindu-şi mult dimensiunile iniţiale şi sporind astfel forţa datorită căreia rădăcina pătrunde în sol.

Zona piliferă (zona perişorilor absorbanți), variază ca lungime de la câțiva milimetri la câțiva centimetri, în funcție de specie. Se numeşte astfel deoarece întreaga zonă este acoperită de perişori absorbanți, subțiri şi lungi, care înconjoară rădăcina asemeni unui manşon pufos, vizibil şi cu ochiul liber. La unele specii de *Crassulaceae* (*Sempervivum funkii*), perişorii se formează până în vârful rădăcinii, o consecință directă a creşterii foarte lente a rădăcinilor acestor plante.

Din punct de vedere anatomic, zona piliferă coincide cu zona de specializare a celulelor, cu formarea țesuturilor definitive primare: rizoderma, scoarța şi cilindrul central. Rizoderma îndeplineşte un rol de absorbție.

Perişorii absorbanți cresc perpendicular pe axa rădăcinii, prin alungirea celulelor rizodermice. De regulă, sunt unicelulari şi foarte rar bicelulari sau pluricelulari (*Salvinia natans*).

Forma perişorilor absorbanți variază în funcție de mediul în care se dezvoltă; pot fi cilindrici, îndoiți, pe alocuri dilatați şi foarte rar ramificați. Pereții lor sunt subțiri şi celulozici. La exterior, sunt dublați de o peliculă pectică mucilaginoasă prin care se realizează un contact mai intim cu particulele de sol, favorizând astfel absorbția sevei brute. Nucleul se află aproape de vârf, unde citoplasma este mai densă. Vacuola este mare, situată central şi plină cu suc celular foarte concentrat, necesar absorbției apei din sol.

Numărul perişorilor absorbanți este cuprins între 200-400 mm^2 iar în privința lungimii s-a constatat faptul că cei situați în partea inferioară a zonei pilifere, sunt mai scurți şi totodată şi cei mai tineri, ca vârstă.

Formându-se atât pe rădăcina principală cât şi pe rădăcinile laterale, ei prezintă o suprafață de absorbție foarte mare, care poate să ajungă până la zeci şi chiar sute de m^2, aspect foarte important pentru procesul de absorbție. MÜLLER-THURGAN a calculat suprafața totală a perişorilor absorbanți la o plantă de *Triticum* sp. şi a constatat că aceasta este de 6 ori mai mare decât suprafața tulpinii şi a frunzelor, adunate la un loc. În general, s-a constatat că perişorii absorbanți sunt mai numeroşi la plantele ierboase, comparativ cu cele lemnoase.

Perişorii absorbanți cresc foarte repede dar se şi uzează uşor datorită umidității prea mari sau uscăciunii solului şi datorită activității lor intense. După o viață scurtă (10-20 zile), ei mor, fiind înlocuiți cu alte formațiuni noi. Pe măsură ce la extremitatea superioară a regiunii pilifere, perii se usucă şi cad, în partea inferioară apar perişori noi, astfel încât lungimea manşonului lor rămâne constantă.

La nivelul perişorilor absorbanți, apa pătrunde din substrat în plantă prin absorbție pasivă sau activă.

Absorbția pasivă a apei este rezultatul transpirației frunzelor, nivel la care se pierd cantități importante de apă. Deficitul de apă din comparti-mentul foliar acționează asemeni unui stimul care va fi recepționat de întreg corpul plantei. În final, acest stimul ajunge la nivelul compartimentului radicular, generând o reacție din partea perişorilor absorbanți, care vor "aspira" apa din soluția solului. În această situația apa este absorbită în mod pasiv de perişorii absorbanți, drept răspuns la deficitul de apă instalat în plante, odată cu procesul de transpirație.

Absorbția activă a apei presupune consum de energie şi se realizează cu ajutorul energiei metabolice proprii celulelor radiculare, prin mecanisme neosmotice. În acest caz, apa pătrunde încet, împotriva gradientului de concentrație, tocmai datorită energiei metabolice specifice celulelor radiculare.

Absorbția apei prin intermediul mecanismelor osmotice nu necesită energie. Astfel, apa pătrunsă în rădăcină va circula datorită unui gradient crescut al presiunii osmotice. Valoarea forței de sucțiune creşte de la perişorul absorbant până la celulele din endoderm. La acest nivel, forța de sucțiune are valori mai mici, datorită acumulării amidonului care este osmotic inactiv.

Curentul de apă depăşeşte şi acest nivel, ajungând la xilem şi de acolo, mai departe, la frunze (fig.2.4).

Fig. 2.4. Calea urmată de apă la nivelul rădăcinii:
1.perişor radicular; 2-6.celulele parenchimului scoarței; 7.endoderm; 8.periciclu; 9-11.parenchimul cilindrului central; 12.vas lemnos

Cu privire la cele două tipuri de absorbție a apei la nivelul zonei pilifere a rădăcinii, absorbția pasivă este cea care justifică pe deplin apa absorbită de către plante, comparativ cu absorbția activă care este evidentă doar la plantele cu transpirație lentă. Prin urmare, absorbția pasivă are loc în plantele care transpiră intens, la acestea rădăcinile funcționând, pur şi simplu, ca suprafețe ce absorb apa

din sol. Rădăcinile mereu acționează ca suprafețe pasive care absorb apa; apa este, în continuare, ridicată de către un gradient al potențialului apei generat de lăstarii şi frunzele care transpiră continuu.

Pe lângă funcția lor principală, aceea de a absorbi apa cu sărurile minerale din substrat, perişorii absorbanți îndeplinesc totodată şi un rol de fixare a plantei în sol; dacă detaşăm o plantulă de *Sinapis alba* cultivată în nisip sau pe un sol afânat, observăm că perişorii antrenează cu ei şi un volum apreciabil de sol.

La unele plante, cele acvatice, rădăcinile sunt lipsite de perişori absorbanți întrucât fiind scufundate în apă, absorbția apei şi sărurilor minerale se realizează pe toată suprafața lor. La alte plante, în schimb, în locul perişorilor se fixează hifele unor ciuperci simbiotice care îndeplinesc aceeaşi funcție de absorbție. Aceste ciuperci trăiesc în simbioză cu rădăcinile plantelor, după un tip de relații trofice directe, numit **micoriză**.

Zona aspră, este ultima zonă a rădăcinii care se întinde de la zona piliferă până la colet. Numele ei se leagă de prezența cicatricelor lăsate de perişorii absorbanți care au căzut. Culoarea ei brună se datorează suberificării celulelor din primele straturi ale scoarței (cutis).

2.4. ABSORBȚIA EXTRARADICULARĂ A APEI

Plantele inferioare sunt lipsite de organe speciale de absorbție şi astfel, ele sunt dependente de apa absorbită direct din atmosferă. Talofitele pot absorbi apa sub formă lichidă, provenită din picăturile de ploaie sau din apa de rouă şi ceață, prin toată suprafața corpului lor; în urma acestei absorbții, ele îşi măresc volumul. Hifele ciupercilor, lichenii şi muşchiul de turbă pot absorbi o cantitate de apă de 15 ori mai mare decât reprezintă starea lor uscată; apa este absorbită rapid, în câteva minute, talurile ajung la saturare, iar după o jumătate de oră, la umflarea maximă (ATANASIU, 1984).

Algele, ciupercile şi muşchii pot absorbi apa şi sub formă de vapori, din aer, dar această sursă este destul de modestă. La aceste plante, gradul de hidratare al protoplasmei este în echilibru cu umiditatea mediului înconjurător, fiind avantajate acele specii care trăiesc în medii unde perioadele scurte de umiditate sunt în alternanță cu cele de uscăciune.

Plantele superioare absorb apa din atmosferă, apelând la o gamă variată de organe aeriene: tulpini, ramuri tinere, muguri şi mai ales frunze. Există situații

când apa poate pătrunde în lăstarii aerieni, prin locurile epidermei lipite de o cuticulă groasă (peri, hidatode) sau prin formațiuni specializate pentru imbibiția apei, cum sunt solzii de la *Bromeliaceae*.

Frunzele, datorită particularităților lor anatomice, absorb apa atât sub formă lichidă, cât şi sub formă de vapori, absorbția fiind cu atât mai activă, cu atât plantele sunt mai ofilite în contextul unor condiții de secetă acută. Cantitatea de apă absorbită prin frunze este însă insuficientă pentru activitatea normală a plantelor, ea reprezentând doar 5-10% din cantitatea necesară, fapt ce contribuie numai la o uşoară scădere a deficitului de saturație în apă al frunzelor.

Intensitatea absorbției apei prin frunze variază foarte mult, în funcție de specie; este mai intensă la grâu, sfeclă, viță de vie, tomate şi fasole, mai puțin intensă la plantele lemnoase ca teiul, fagul şi stejarul şi mult mai lentă la *Rhododendron hybridum*. De asemenea, absorbția apei este mai intensă la frunzele cu stratul de cuticulă subțire, cum sunt frunzele tinere, care pot absorbi cca. 50% din cantitatea de apă necesară, mai ales pe fața inferioară a limbului foliar, în imediata vecinătate a nervurilor fine.

În mod firesc, apa nu pătrunde în frunze prin osteolele stomatelor întrucât camerele substomatice şi spațiile intercelulare ale mezofilului foliar sunt ocupate de aer, motiv pentru care aplicarea stropirilor cu apă sau cu soluții nutritive, se poate face mai eficient spre seară sau dimineața, când stomatele sunt închise.

Cantitatea de apă absorbită de etajul foliar depinde de deficitul de saturație al frunzelor şi de gradul de permeabilitate al stratului de cutină. Când acest strat nu este continuu, va facilita o capacitate de absorbție a apei mai mare (soiul de măr Mc Intosh), fapt datorat prezenței între straturile paralele de cutină, a unei substanțe pectice, care dispune de o capacitate bună de absorbție a apei (Suciu şi Milică, 1982),.

Absorbția apei prin organele aeriene are importanță în perioadele mai secetoase ale anului. Acest tip de absorbție stă la baza fertilizării extraradiculare suplimentare a plantelor, procedeu tehnologic modern, care constă în stropirea plantelor cu soluții nutritive apoase, diluate. Plantele astfel fertilizate dau sporuri semnificative de recoltă, rezultate bune în acest sens, obținându-se la cereale, sfeclă de zahăr, tomate, cartof etc.

2.5. TRANSPORTUL APEI ÎN CORPUL PLANTELOR

Apa absorbită de perişorii absorbanți ai rădăcinii străbate o cale relativ lungă până la nivelul frunzelor, nivel la care ea se pierde prin procesul de transpirație. Circulația apei de la organul de absorbție spre cel la al cărui nivel se pierde, determină o legătură funcțională strânsă între aceste organe distanțate spațial.

Pe traseul parcurs, coloana de apă întâlneşte atât elemente vii (celulele din parenchimul rădăcinii şi frunzei) cât şi elemente lipsite de conținut viu (trahee şi traheide), acestea din urmă constituindu-se în sistemul lemnos conducător al plantei (fig.2.5).

Pe distanțe mici, apa circulă în plantă de la o celulă la alta prin difuzie şi pe distanțe mai mari, apa este condusă prin vasele de lemn.

În celulele rădăcinii, în sens transversal, apa circulă prin difuzie şi, parțial, datorită unor efecte osmotice. Există şi o absorbție la nivelul pereților celulari, care funcționează asemeni unor bureți care atrag apa în ei prin forțe de capilaritate.

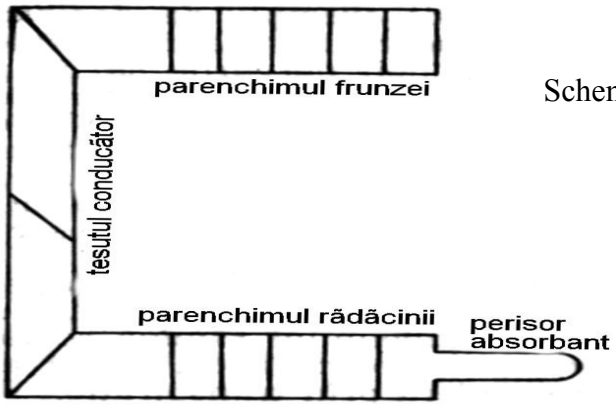


Fig. 2.5.
Schema circulației apei în corpul plantelor

Scoarța rădăcinii serveşte ca un rezervor de apă, compensând fluctuațiile diurne relativ scurte în aprovizionarea cu apă din sol. Când ajunge în endoderm, transportul apei este blocat de elementele hidrofobe sau de cele lemnoase din pereții celulari. Apa este atunci vehiculată către părțile din endoderm permeabile pentru apă. În cilindrul central, apa trece în vasele conducătoare, de unde este urcată spre etajele superioare ale plantei.

Sistemul conducător este specializat în transportul şi distribuția apei, care circulă prin lumenul vaselor lemnoase. Există şi o circulație prin pereții vaselor, dar neînsemnată în raport cu aceea din vase. În frunze, vasele lemnoase se

ramifică în elemente foarte fine, nervuri, din care apa trece în parenchim şi de aici, din nou, prin difuzie, de la o celulă la alta, în mezofil.

Potențialul apei din țesuturile tulpinii este mai scăzut decât cel din rădăcini, iar potențialul apei din frunze este mai scăzut decât cel din tulpină. Apa circulă de la un potențial mai mare către un potențial mai scăzut. Prin urmare, apa care traversează planta este pusă în mişcare de diferența potențialului apei dintre sol şi aer (ATANASIU, 1984).

Corpul plantelor este traversat de un dublu curent de lichide, care constituie seva brută şi seva elaborată. **Seva brută** este o soluție de săruri minerale, absorbită din sol de către rădăcini, la nivelul regiunii ei pilifere şi circulă de jos în sus, ascendent, până la țesuturile asimilatoare, prin intermediul țesutului conducător lemnos.

Seva elaborată este o soluție de substanțe organice, îndeosebi glucide, formată în urma procesului de fotosinteză; ea circulă, în general, de sus în jos, descendent, prin intermediul țesutului conducător liberian. Seva elaborată circulă la toate țesuturile plantei şi, în special, spre zonele lor de creştere. Surplusul de sevă elaborată se depozitează ca material de rezervă, în organele de acumulare.

Necesitatea de a asigura circulația unei cantități mai mari de sevă şi mai repede, devine cu atât mai stringentă, cu cât corpul plantei creşte mai mult şi cu cât el produce părți aeriene mai numeroase.

Prin urmare, pentru îndeplinirea funcției de transport, corpul plantei este străbătut de țesuturi speciale, numite conducătoare. În procesul evolutiv, s-a diferențiat câte un țesut special de conducere pentru fiecare categorie de sevă: **țesutul lemnos** pentru seva brută şi **țesutul liberian** pentru seva elaborată. Diferențierea celor două tipuri de țesuturi reprezintă o adaptare la cerința de a fi conduse simultan prin organele plantei, substanțe diferite, în sensuri diferite.

Apariția țesuturilor conducătoare reprezintă un salt calitativ, ele întâlnindu-se numai la grupele mai evoluate de plante, bine adaptate la mediul terestru.

Specializarea aparatului conducător, format din țesut lemnos şi țesut liberian, s-a manifestat prin alungirea lor, prin perforarea sau dispariția pereților terminali (transversali), ceea ce a condus la formarea de tuburi lungi, prin care circulă seva brută şi seva elaborată.

Țesuturile conducătoare îşi au originea în țesuturile meristematice apicale sau laterale, iar ele nu sunt dispersate la întâmplare în organele plantelor; sunt

grupate în mănunchiuri sau fascicule distincte. Astfel, la rădăcini, fasciculele conducătoare sunt simple, liberiene şi lemnoase, având dispoziție radiară şi alternând unele cu celelalte. La tulpină şi frunze, în schimb, fasciculele sunt mixte, libero-lemnoase.

Țesutul conducător lemnos (lemn sau xilem), implicat în trans-portul sevei brute are următoarele elemente histologice:

- vasele;
- celulele de parenchim lemnos;
- fibrele lemnoase.

După forma şi dimensiunile lor, după structura şi modul de îngroşare al pereților, vasele lemnoase sunt de două feluri: traheide şi trahee.

Traheidele, numite şi vase închise sau imperfecte, sunt elemente conducătoare unicelulare, suprapuse unele în continuarea celorlalte (formând şiruri longitudinale), cu pereții transversali persistenți şi adesea oblici, a căror capete sunt ascuțite sau rotunjite (fig.2.6).

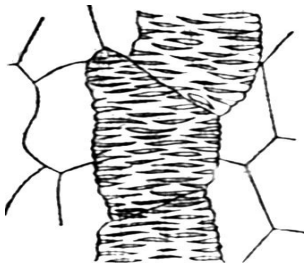


Fig. 2.6. Traheida în rădăcina de *Beta vulgaris*

Traheidele sunt caracteristice plantelor vasculare mai puțin evoluate (gimnosperme) şi au lungime care variază de la câțiva microni până la 2-3 cm, iar lățimea de la 1 la 10 μ. Datorită persistenței pereților de-a lungul şirurilor de traheide, circulația sevei brute se face mai greu, de aceea apar la acele plante la care mişcarea sevei brute este mai înceată.

Circulația sevei brute se face prin punctuațiuni şi prin difuzie. Datorită pereților îngroşați şi lignificați, traheidele îndeplinesc şi funcție de susținere.

Traheele, numite şi vase deschise sau perfecte, sunt tuburi continue, mai largi decât traheidele şi între care pereții transversali au dispărut complet sau în cea mai mare parte.

Traheele se întâlnesc la plantele vasculare mai evoluate (Angiosperme). Lungimea lor variază de la câțiva centimetri până la 1-5 m. Cele mai lungi vase perfecte se întâlnesc la liane (3-5 m). În schimb, lățimea traheelor se încadrează

între 10-70 μ. După modul de îngroşare al pereților traheelor, ele pot fi: inelate, spiralate, reticulate şi punctate (fig.2.7).

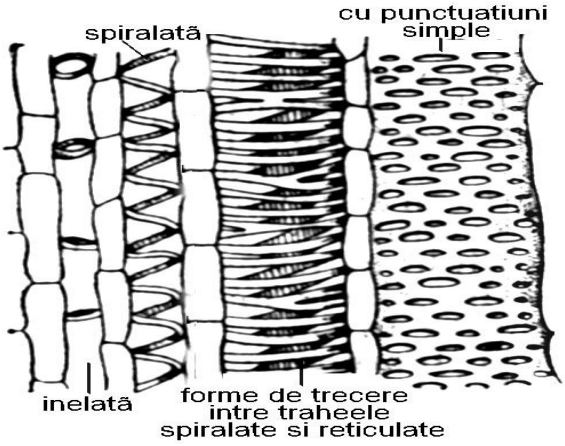


Fig. 2.7.
Tipuri de trahee în secțiune longitudinală

Când traheele nu mai sunt funcționale, conținând numai aer şi îndeplinind numai rol de susținere, cavitatea lor este adesea închisă de formațiuni numite tile. O tilă este o expansiune veziculară produsă de o celulă vie, ce traversează punctuațiunea unui vas şi se dilată în cavitatea acestuia (fig.2.8).

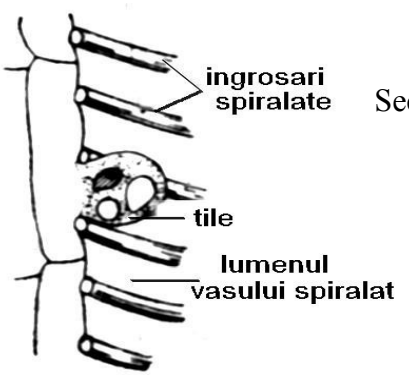


Fig. 2.8.
Secțiune transversală printr-o tilă a unui vas spiralat din tulpină

Peretele tilei poate rămâne subțire sau se îngroaşă, în ultimul caz fiind posibilă şi lignificarea. La plantele lemnoase, cu vase de calibru mic (*Acer, Betula*) tilele lipsesc. Lemnul cu tile multe este mai valoros decât cel cu un număr redus; tilele împiedică pătrunderea în vas a apei, a aerului şi a hifelor unor ciuperci parazite, determinând astfel, o mai bună conservare a lemnului, o creştere a valorii sale tehnice (GRINȚESCU, 1985).

La nivelul traheelor, circulația sevei brute se face prin pereții laterali care sunt perforați, prezența porilor facilitând trecerea apei pentru circulația laterală.

Întrucât vasele lemnoase sunt celule fără protoplasmă, la care pereții despărțitori dintre celule au dispărut, circulația apei la nivelul lor poate fi realizată pe distanțe mari, de zeci şi sute de metri şi cu viteză mare.

Vasele lemnoase apar în rădăcină, iar numărul şi diametrul lor creşte spre tulpină şi ramuri. Ulterior, ele pătrund prin peţiolul frunzei, unde se ramifică în nervuri fine. Prin urmare, fiecare celulă din mezofilul frunzei vine în contact direct sau indirect cu câte un vas de lemn.

Seva brută circulă pe distanţe mici, pe principiul osmozei, datorită forţei de sucţiune a celulelor. Această circulaţie de ordinul a cel mult un mm/oră este specifică zonelor parenchimatice (zone de celule vii) din rădăcină şi limbul foliar.

Pe distanţe mari, apa fiind condusă prin vasele lemnoase, va circula cu viteze mari, de ordinul zecilor şi sutelor de m/oră (150 m/oră la liane). Transportul vertical al apei de la rădăcină la frunze, pe distanţe de peste 70 m, presupune existenţa unui ansamblu de forţe pe baza cărora, curentul de apă să poată învinge: factorii de rezistenţă la trecerea prin plantă (presiunea hidrostatică), frecarea de pereţii traheelor şi rezistenţa la străbatere prin parenchimul radicular şi foliar.

Ansamblul de forţe care facilitează urcarea sevei brute de la nivelul sistemului radicular la etajul foliar sunt: presiunea radiculară, forţa de sucţiune (aspiraţie) a frunzelor, forţa de coeziune a moleculelor de apă, capilaritatea vaselor şi imbibiţia pereţilor traheelor şi a membranelor celulare aferente parenchimului.

2.6. ELIMINAREA APEI DE CĂTRE PLANTĂ

Concomitent cu absorbţia şi transportul apei în plantă are loc şi eliminarea ei în atmosferă, proces realizat la nivelul tuturor organelor aeriene, prin două procese distincte: **transpiraţia** şi **gutaţia**. Dacă prin transpiraţie apa este eliminată sub formă de vapori, prin gutaţie apa este eliminată sub formă lichidă, de picături. Volumul de apă pierdut prin gutaţie este foarte mic, în comparaţie cu transpiraţia. Astfel, s-a calculat că o pădure cu suprafaţa de 1 ha transpiră 3000-4000 tone apă/an, iar o cultură de porumb de 1 ha transpiră în jur de 3000 tone apă, în perioada de vegetaţie (ATANASIU, 1984).

Două faze importante se petrec în timpul transpiraţiei: prima, la evaporarea apei din celulele mezofilului foliar în spaţiile intercelulare şi a doua, la difuziunea vaporilor de apă din spaţiile respective în aerul exterior (fig.2.9). Cea mai mare cantitate de vapori de apă iese prin stomate (transpiraţia stomatică) şi într-o măsură mai redusă prin celulele epidermice ale frunzei (transpiraţia cuticulară) şi lenticelele prezente pe scoarţa ramurilor (transpiraţia lenticelară).

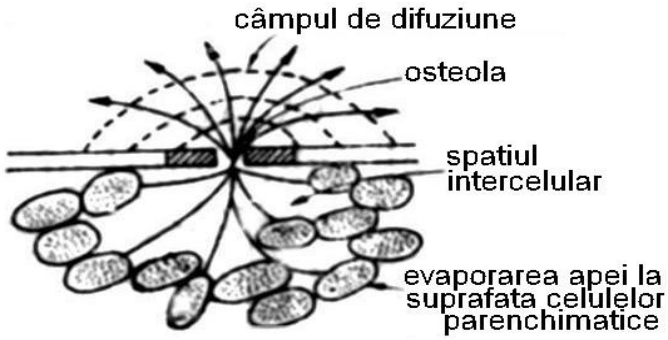


Fig. 2.9. Drumul apei din celulele parenchimatice spre atmosferă

Stomatele rămân printre cele mai interesante structuri ale plantelor, nu numai pentru că ele controlează transpirația şi absorbția bioxidului de carbon, ci pentru că ele reacționează atât față de lumină cât şi față de bilanțul intern al apei din plante. Indiferent de tipul de transpirație luat în discuție, efectele pozitive ale acestui proces se regăsesc în viața plantelor, putându-le nominaliza astfel: efect de răcire a sistemului foliar, efect de absorbție a apei şi de menținere a turgescenței celulelor şi efect asupra absorbției sărurilor minerale.

2.6.1. Stomatele şi rolul lor în transpirație

Sunt structuri foarte specializate care prin organizarea lor asigură transpirația celulelor delimitate de epidermă. Stomatele se deosebesc structural şi funcțional de celulele epidermice ale mezofilului foliar din care, de fapt, se diferențiază.

O stomată este alcătuită din două celule epidermice specializate, numite **celule stomatice**, care lasă între ele o deschidere numită **osteolă**. Prin urmare, stomata apare asemeni unui por care face legătura între mediul intern al frunzei şi mediul extern (fig.2.10, ANDREI, 1981).

În componența acestor structuri intră şi **camera substomatică**, compartiment la nivelul căruia se acumulează vapori de apă înainte de a fi evacuați, în exterior, prin procesul transpirației.

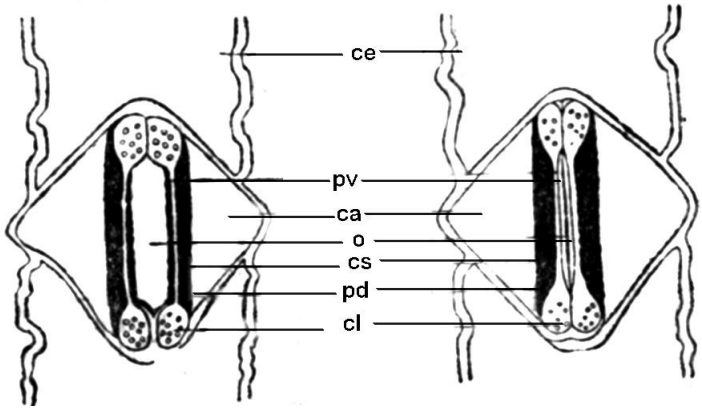


Fig. 2.10. Aparatul stomatic la *Zea mays*
ce – celule epidermice; pv – perete ventral; ca – celule anexe; o – osteolă;
cs – celule stomatice; pd – perete dorsal; cl – cloroplaste

Celulele stomatice sunt înconjurate de **celule anexe**, cu rol accesoriu, materializat prin contribuția lor la diminuarea eventualelor presiuni exercitate asupra celulelor stomatice.

Distribuția stomatelor pe organele plantei. Ele se formează, de obicei, pe toate organele supraterestre ale plantelor, dar mai ales pe frunze. Pe elementele florii, petale sau semințe, stomatele sunt nefuncționale (incomplet dezvoltate).

Stomatele lipsesc pe organele subterane, cu excepția rizomilor şi organelor plantelor lipsite de clorofilă (*Neottia* sp.). În general, plantele acvatice submerse sunt lipsite de stomate (*Vallisneria spiralis*) iar la cele cu frunze natante, stomatele se formează numai pe fața lor superioară, expusă luminii solare (*Nuphar luteam*).

Pe frunzele fotosintetic active şi la numeroase xerofite, stomatele se formează atât pe fața superioară, cât şi pe cea inferioară. Există frunze a căror stomate se diferențiază doar pe o parte a limbului, fie superior, fie inferior. Stomatele nu se formează niciodată în dreptul fasciculelor conducătoare, ci numai în țesutul asimilator al frunzelor, palisadic sau lacunar.

Numărul de stomate. Acesta creşte sau scade la aceeaşi specie sau la diferite specii de plante, fiind în funcție de faza ontogenetică a plantei şi de condițiile ecologice în care acestea se dezvoltă (ANDREI, 1981). Din acest motiv, se întâlnesc adesea, la aceeaşi specie, un număr diferit de stomate. De regulă, pe suprafața unei frunze pot fi între 1000 şi 60.000 de stomate pe 1 cm^2, ceea ce reprezintă o suprafață mică, de 1-2% din limbul foliar.

Variația numărului de stomate la aceeaşi specie se datorează şi porțiunii foliare investigate. Din acest motiv, se recomandă ca materialul investigat să fie prelevat între marginea şi nervura principală a frunzei, această porțiune având numărul de stomate apropiat de valoarea medie (BARANOV, 1924).

În general, stomatele sunt mai numeroase pe fața inferioară a limbului foliar. Dacă numărul stomatelor depăşeşte o anumită densitate (peste 70.000/cm^2), intensitatea transpirației scade datorită creării "**efectului de margine**", respectiv a unei zone de interferență care formează o atmosferă saturată în vapori, unde curenții de difuzie se lovesc între ei.

Poziția stomatelor pe suprafața limbului. În privința nivelului la care sunt dispuse stomatele față de celulele epidermice, se întâlnesc mai multe situații:

- stomate la acelaşi nivel cu celulele epidermice; această dispoziție se întâlneşte mai ales la mezofite (*Tradescantia* sp.);
- stomate sub nivelul celulelor epidermice; această dispoziție este caracteristică speciilor xerofite. Localizarea stomatelor se face în cavități numite cripte, spațiu în care aerul este mai liniştit, parțial saturat în vapori de apă, ceea ce favorizează reducerea intensității transpirației;
- stomate deasupra nivelului celulelor epidermice; o asemenea dispoziție creează premisa derulării transpirației intense şi este caracteristică plantelor hidrofile şi mezofile (*Anemone nemorosa*).

Deschiderea osteolei. Închiderea şi deschiderea osteolei se datorează îngroşării inegale a pereților celulelor stomatice. Mecanismul intim al deschiderii osteolei nu este pe deplin cunoscut, ca atare, ceea ce se cunoaşte nu poate fi generalizat la toate tipurile de stomate.

Conform unei ipoteze mai actuale, deschiderea osteolei este determinată de cationii monovalenți, în special cei de potasiu, care pătrund în mod activ din celulele anexe în vacuolele celulelor stomatice, determinând creşterea potențialului osmotic al acestora. Fenomenul conduce la pătrunderea apei în celulele stomatice, la mărirea turgescenței lor şi, în final, la deschiderea osteolei. Când substanțele osmotic active şi ionii de potasiu, ies din vacuolă împreună cu apa, presiunea osmotică şi turges-cența celulelor scade, iar stomata se închide. După opinia specialiştilor (PALLAGY, 1971; FELLOW, 1971), hidrații de carbon servesc ca sursă de energie pentru transportul activ al cationilor.

2.6.2. Gutația

Este procesul fiziologic caracteristic plantelor prin care apa lichidă, în exces, se elimină sub formă de picături, prin structuri specializate numite **hidatode**. Ele se află în vârful frunzelor (graminee), al dințișorilor de pe marginea frunzelor (creţuşcă) sau pe întreaga suprafață a frunzelor (fasole). Comparativ cu marea majoritate a stomatelor care sunt aerifere, deoarece osteolele şi camerele lor substomatice sunt pline cu aer, stomatele acvifere sau hidatodele au aceleaşi compartimente pline cu apă.

Stomatele acvifere sunt mult mai mari, comparativ cu stomatele obişnuite şi au osteola permanent deschisă. În general, se întâlnesc la extremitatea nervurilor frunzei şi se formează din stomatele aerifere care, la un moment dat, devin nefuncționale prin pierderea capacității de a se mai închide. Apa emisă sub formă de picături este incoloră, limpede şi conține săruri minerale (7-120 mg la 100 ml apă) şi mai puține substanțe organice. Prin gutație sunt eliminate clorura de sodiu (NaCl) la plantele de sărătură şi carbonatul acid de calciu la plantele de pe solurile calcaroase. Există plante care elimină prin apa de gutație şi acizi organici (grâul). La specia iarba-surzilor (*Saxifraga aizoon*), prin evaporarea apei, carbonatul acid de calciu se transformă în carbonat de calciu, care se depune pe frunze sub forma unor solzişori albi.

Gutația are loc când condițiile externe nu permit transpirația, când atmosfera este saturată de vapori de apă, primăvara şi vara, când după zile cu arşiță urmează nopți răcoroase. În aceste condiții se produce un dezechilibru între absorbția radiculară care rămâne la un plafon ridicat, datorită solului mai cald şi transpirației care este mult redusă, drept urmare a închiderii stomatelor, a temperaturii scăzute din atmosferă şi a umidității relative ridicate. Prin perturbarea raportului dintre absorbție şi transpirație, în țesuturile frunzei se acumulează un exces de apă care se elimină în exterior direct, sub formă de picături de gutație (fig.2.11, BĂRBAT şi CHIRILEI, 1964).

Fig. 2.11. Gutația la o frunză de conduraş (*Tropaeolum*)

Test de autocontrol

1. Care sunt procesele fizice implicate în accesul apei în corpul plantelor?
    a. difuzia şi schimbul ionic
    b. osmoza şi imbibiția
    c. adsorbția
    d. plasmoliza

2. Țesutul abilitat în transportul şi repartizarea sevei brute la nivelul compartimentelor plantei este:
    a. xilemul
    b. parenchimul frunzei
    c. țesutul asimilator
    d. țesutul mecanic

3. Care din următorii factori influențează reacțiile de deschidere ale stomatelor?
    a. succesiunea anotimpurilor
    b. alternanța lumină-întuneric
    c. pH-ul soluției solului
    d. concentrația de O_2 din aerul atmosferic

4. Cum se numeşte procesul fiziologic implicat în eliminarea lichidă a apei din plante?
    a. plasmoliză
    b. gutație
    c. transpirație
    d. imbibiție

C a p i t o l u l 3
REGIMUL NUTRIȚIONAL AL PLANTELOR

3.1. ROLUL ELEMENTELOR MINERALE ÎN VIAȚA PLANTELOR

Pentru o creştere şi o dezvoltare corespunzătoare, pe lângă apă, plantele necesită şi o gamă variată de substanțe minerale, acestea reprezentând hrana lor brută. Plantele preiau aceste substanțe din mediu, sub o formă neprelucrată şi după pătrunderea lor în organism vor fi supuse unor transformări complexe, rezultatul constând în obținerea unor compuşi organici proprii celulelor vegetale.

În general, elementele minerale influențează însuşirile fizico-chimice ale plasmei celulare, reacțiile enzimatice, diviziunea celulei, contribuie la transformările chimice din organism, asigură echilibrul osmotic al celulelor etc. Fiecare element mineral îndeplineşte şi o funcție specifică în celule şi datorită acestui fapt, el se poate înlocui cu altul, dar cu mare dificultate.

Prezența sau absența unui element mineral în organismul vegetal depinde de funcțiile sale fiziologice. Dacă funcția unor elemente (nichel, argint) este puțin cunoscută, rolul pe care îl au alte elemente în procesele metabolice, este cunoscut la modul cel mai detaliat.

Există elemente minerale care se acumulează în plante fără nici o legătură cu necesitățile ei fiziologice. Acest aspect se datorează unei puteri de selecționare deficitare din partea plantei. Adeseori, plantele nu pot face o selecție între elementele esențiale şi neesențiale, întrucât o asemenea evaluare se materializează, în final, în citoplasma celulelor lor. Considerăm elementele neesențiale absorbite de plante, drept simpli însoțitori de circulație ai elementelor esențiale (BĂRBAT şi TRIFU, 1997).

Un element mineral poate fi considerat esențial dacă absența sa produce deranjamente funcționale în organism. Aceasta nu implică faptul că ar fi necesar pentru oricare alt organism, deoarece necesitățile unor specii chiar şi strâns înrudite pot fi diferite.

Necesitatea unor elemente minerale este indicată de anumite boli fiziologice, determinate de carența unui element mineral. Astfel, necesitatea fierului este indicată de apariția clorozei la vița de vie, pe terenurile calcaroase;

prin stropirea frunzelor bolnave cu o soluție de sulfat de fier, frunzele revin la culoarea inițială (BĂRBAT şi CALANCEA, 1970).

Elementele minerale pătrund în plantă sub formă disociată, respectiv sub formă de ioni (cationi şi anioni). Este cunoscut faptul că anionii (N, S, P, Si) formează în plante compuşi organo-minerali stabili, cu un rol important în metabolism sau în structura protoplasmei şi organitelor. Cationii, în schimb, se găsesc în cea mai mare parte în stare liberă şi acțiunea lor principală constă în modificarea stării coloidale a protoplasmei, influențând pe această cale întreg metabolismul plantei.

Pornind de la necesitatea prezenței elementelor minerale pentru creşterea plantelor, s-a propus împărțirea lor în trei grupe: elemente esențiale, indispensabile pentru creşterea, dezvoltarea şi înmulțirea plan-telor; elemente folositoare care produc efecte favorabile pentru creşterea plantelor, în absența lor plantele putându-şi manifesta funcțiile în mod satisfăcător şi alte elemente, a căror participare la funcțiile vitale ale plantelor necunoscându-se în mod concret.

Cercetarea compoziției chimice a plantelor prin metode clasice şi mijloace de investigare modernă, a demonstrat că plantele conțin aproape toate elementele din tabelul lui Mendeleev, dar mai precis detectate au fost 70 elemente minerale. Dintre acestea, sunt mai frecvente următoarele **macroelemente** (C, O, H, N, S, P, K, Ca, Mg, Fe, Al, Cl, Na, Si) care alcătuiesc 99,9% din corpul plantelor şi se găsesc în zecimi şi sutimi de procente din greutatea totală a plantelor. **Microelementele** (Mn, Zn, Cu, Br, B, Mo, Ni, Sn, Sr, Ti, Ba, F, Co) se găsesc în miimi, zeci şi sute de miimi de procente din greutatea totală a plantelor, iar **ultramicroelementele** (U, Ra, Pb, Hg, Ge, Ag) se găsesc în cenuşa plantelor, ca urme, în milionimi de procente.

Împărțirea elementelor minerale în macro şi microelemente nu este bazată pe importanța acestora în nutriția plantelor, ci reflectă doar cantitățile elementelor respective prezente în plante. Prin faptul că absența unui microelement poate provoca perturbații grave în metabolismul general al plantei, în desfăşurarea creşterii şi dezvoltării ei, reiese că acesta are o mare importanță pentru plantă. Prin urmare, deşi microelementele existente în corpul plantelor, se regăsesc în proporții ce nu depăşesc niciodată 0,02% din greutatea lor uscată, nu le fac mai puțin importante comparativ cu macroelementele.

Diferitele elemente minerale nu sunt cerute de plante în cantități egale. Necesitățile cantitative diferă de un grup de plante la altul, de la o specie la alta şi

chiar de la un soi la altul. Astfel, plantele superioare necesită o cantitate de calciu mult mai mare decât cele inferioare şi, în general, se presupune că plantele inferioare au nevoie de o cantitate mai mică din cationii tuturor macroelementelor, în comparație cu plantele superioare. Chiar în cadrul plantelor superioare, dicotiledonatele, necesită o cantitate de bor mai mare decât monocotiledonatele. Acelaşi lucru rămâne valabil şi pentru unitățile sistematice din ce în ce mai restrânse.

3.2. PROCESELE FIZICE IMPLICATE ÎN ACCESUL NUTRIENȚILOR ÎN PLANTE

Faptul că zona de acces a sărurilor minerale (zona piliferă) coincide cu zona de acces a apei la nivelul rădăcinii, nu presupune obligatoriu existența unui paralelism între absorbția elementelor minerale şi a apei, întrucât fiecare dispune de legi specifice de pătrundere în plantă. Astfel, dacă apa pătrunde sub formă moleculară prin osmoză şi imbibiție, elementele minerale pătrund prin alte procese (difuzie, adsorbție, schimb ionic, purtători de ioni) sub formă disociată, respectiv sub formă de ioni (anioni şi cationi).

Schimbul permanent de substanțe între celulele vii ale plantelor şi mediul extern se materializează pe mai multe direcții, prin urmare şi denumirile conferite sensului în care se desfăşoară schimbul de substanțe sunt diferite: absorbție, secreție şi excreție (desorbție). Astfel, **absorbția** se referă la fluxul de substanțe spre interiorul celulelor vii, **secreția** presupune schimbul de substanțe din interiorul celulelor vii (din citoplasmă spre vacuolă sau din citoplasmă spre vasele lemnoase conducătoare) iar **excreția** sau **desorbția** se referă la ieşirea fluxului de substanțe din celulele vii ale plantelor spre exterior.

Există două tipuri de absorbție a elementelor minerale; pasive care se derulează fără aport energetic celular şi active care apelează la purtători (transportori) a căror funcție metabolică asemănătoare enzimelor cere obligatoriu consum de energie metabolică, provenită din respirația celulară.

1. Absorbția pasivă a ionilor minerali se realizează prin difuzie, adsorbție şi schimb de ioni, fără intervenția unui aport energetic din partea celulelor vii ale plantei.

a) Difuzia este un proces fizic care presupune întrepătrunderea moleculelor a două gaze sau lichide de concentrații diferite care puse în contact

direct converg în realizarea unui amestec omogen, de concentrație uniformă. Difuzia explică parțial pătrunderea ionilor minerali prin membranele celulare şi membranele plasmatice ale celulei (plasmalema şi tonoplastul) întrucât ultimele sunt semipermeabile, ca atare, ele permit trecerea solventului prin ele, dar opresc moleculele substanței dizolvate.

În cazul pătrunderii prin **difuzie propriu-zisă**, în special a moleculelor neutre din punct de vedere electric, viteza de penetrare depinde de concentrația şi solubilitatea lor în grăsimi sau în apă. Acest aspect este foarte important, întrucât membranele neavând pori, singurele orificii rămân spațiile dintre moleculele proteice şi lipidice (largi de numai 3Å). Substanțele nu pot trece decât dacă sunt capabile să se dizolve în componentele membranei de pe partea unui compartiment, să difuzeze prin ea şi apoi să iasă, dizolvându-se în mediul celuilalt compartiment.

Prin membranele semipermeabile, ionii difuzează mai greu şi au nevoie de o energie cinetică de acționare pentru a trece de pe fața externă pe fața internă a acestor membrane; această energie o pot procura particulele prin ciocnirile care au loc cu alte particule învecinate.

Difuzia unor molecule prin membrane poate fi **favorizată** dacă ele se combină cu unele grupări chimice care le ajută să migreze prin mediul membranei. Glucoza constituie un exemplu de moleculă care poate traversa o membrană pe această cale a difuziei favorizate. Interesant este că ionii de Na^+, K^+, H^+, OH^- şi HPO_4^{2-} nu pot trece în acest mod prin membrană; aceeaşi soartă o au şi macromoleculele proteice. Pe calea difuziei favorizate, apa trece relativ uşor întrucât toate moleculele ei sunt în general hidratate.

b) Adsorbția este procesul fizic care presupune fixarea particulelor dintr-o soluție, respectiv a ionilor minerali la suprafața membranelor celulelor vii; acest proces este considerat debutul procesului de absorbție a ionilor în celulele vegetale. Anionii şi cationii pot fi adsorbiți din soluții apoase pe suprafața proteinelor, celulozei dar şi pe suprafața organitelor celulare.

Adsorbția este de două tipuri, respectiv mecanică şi folară. Ambele tipuri de adsorbție se realizează sub acțiunea forțelor electrice de pe supra-fața adsorbantă, însă diferă natura legăturilor. Întrucât **adsorbția mecanică** se realizează prin valențe slabe, substanțele adsorbite pe această cale sunt detaşabile de pe suprafața adsorbantului prin simpla spălare cu apă.

Adsorbția folară este mai puternică şi ea depinde de formarea de săruri. Se realizează prin formarea de combinații între ionii minerali şi substanțe organice cu grupare carboxilică (R-COOH) sau bazică ($R\text{-}NH_2$); combinațiile rezultate poartă numele de **chelați**. Un exemplu de complex de chelatare îl reprezintă EDTA (acidul etilen-diaminotetraacetic); el intervine în absorbția sărurilor prin crearea şi menținerea unui gradient de concentrație, de-a lungul căruia ionii se pot deplasa prin difuzie. În ultimii ani, au fost preparați numeroşi chelați sintetici, la care se recunoaşte trăi-nicia cu care sunt legate metalele de partea organică. Aceste substanțe au o mare importanță în agricultură, întrucât în cazul lipsei sau insuficienței unui microelement în sol, chelații sintetici pot satisface necesitățile plantelor.

c) Schimbul de ioni explică mai ales absorbția cationilor. Ionii dintr-o soluție pot pătrunde prin membranele celulare prin schimb de ioni. Oferta de ioni a celulei vegetale o constituie ionii rezultați în urma procesului de respirație a perişorilor absorbanți (CO_3H^- şi H^+), radicalii organici excretați de rădăcină (acidul malic, citric şi succinic) şi o serie de aminoacizi. În unele situații, respectiv spre sfârşitul perioadei de vegetație, schimbul de ioni se efectuează apelându-se la ionii absorbiți de plante anterior (K, Ca).

Schimbul de ioni nu se efectuează la întâmplare; acest schimb se face între ioni de aceeaşi sarcină electrică (anion cu anion şi cation cu cation) şi presupune echivalența sarcinilor electrice a ionilor absorbiți şi cedați. Prin urmare, un ion bivalent va fi absorbit prin schimb cu doi ioni monovalenți, iar unul trivalent cu trei ioni monovalenți (fig.3.1).

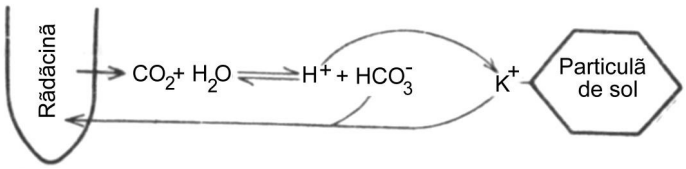


Fig. 3.1. Absorbția cationilor din sol prin schimb ionic

2. Absorbția activă a ionilor minerali apelează la transportorii sau purtătorii de ioni care facilitează transportul nutrienților în celulele plantelor, activarea unei asemenea operații rezultând din energia eliberată prin procesul respirator.

Transportorii sunt substanțe care se găsesc în membranele plasmatice şi în citoplasma celulelor: proteine structurale, fosfolipide, enzime oxido-reducătoare

(citocromi), acizi nucleici (ARN), aminoacizi şi o serie de produşi rezultați în urma metabolismului. Transportorul fixează rever-sibil ionii minerali, formând complexul ion-transportor (XI). Acesta difuzează de pe partea externă a plasmalemei (M_1) pe partea internă a acestei membrane plasmatice (M_2), urmarea firească a acestui demers constând în eliberarea ionului în citoplasmă. În final, transportorul revine la locul său inițial fiind apt să fixeze un alt ion (fig.3.2).

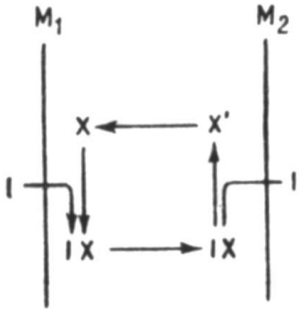


Fig. 3.2. Reprezentarea schematică a transportului activ prin intermediul transportorilor (M_1, M_2 – foițe plasmatice; X – transportor; I – ion mineral)

SUTCLIFFE (1962) a precizat că în absorbția activă, pentru fixarea ionilor pe transportori, există o adevărată concurență întrucât mai mulți ioni sau grupe de ioni concurează pentru aceleaşi locuri de fixare pe purtători. Astfel, ionul de K^+ este concurent cu ionii de Ca^{++}, Ba^{++} şi Sr^{++}. În plus, afinitatea transportorului pentru ioni sau grupe de ioni este diferită.

Pe această cale sunt absorbiți mai ales anionii şi într-o măsură mai mică, cationii. Între absorbția anionilor şi procesul respirator s-a stabilit o corelație pozitivă foarte strânsă întrucât absorbția acestor ioni necesită energie metabolică atât pentru activarea transportorilor, cât şi pentru formarea complexului ion-transportor, cedarea ionilor fixați şi revenirea transportorilor la locul inițial, respectiv pe foița externă a plasmalemei.

3.3. ABSORBȚIA ELEMENTELOR MINERALE ÎN PLANTE

3.3.1. Absorbția radiculară a elementelor minerale

În vederea nutriției minerale, plantele şi-au perfecționat sisteme uimitoare. Fiind incapabile de locomoție, ele trebuie să-şi procure nutrienții de la locul de creştere şi să facă acest lucru într-un spațiu cu un mediu mineral extrem de divers. Condițiile de sol variază de la uscăciune la inundația permanentă, de la reacția acidă la una bazică, de la un sol lipsit de orice elemente minerale la unul saturat în săruri, de la un sol aproape steril la unul cu viață microbiană bogată. Astfel, diferitele soluri reprezintă medii minerale de o varietate extraordinară. Natura

solului, ca mediu mineral al plantelor, constituie o condiție determinantă pentru adap-tarea şi distribuția plantelor, adică un factor ecologic esențial.

Lungimea totală şi numărul componentelor rădăcinii sunt elemente esențiale pentru exploatarea substratului. De exemplu, o plantă cerealã, după câteva săptămâni de la germinare, formează peste 50 de metri de rădăcini care pornesc de la o duzină de axe radiculare, în peste 200 de direcții (ATANASIU, 1984).

Rădăcinile plantelor au capacitatea de a folosi ionii minerali din substanțe greu solubile (fosforite, carbonat de calciu), întrucât excretă substanțe care dizolvă aceste complexe (fig.3.3). Dintre substanțele cu caracter acid eliminate de rădăcini, o parte însemnată o constituie acidul carbonic care se formează din CO_2 degajat în urma respirației rădăcinilor şi apa din soluția solului. Pe lângă acidul carbonic, rădăcina excretă şi alți acizi (acidul malic şi acidul succinic).

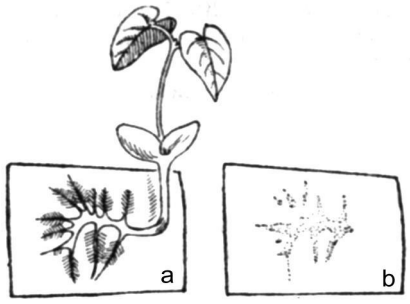


Fig. 3.3. Rădăcinile unei plante de fasole în contact cu o placă de marmură (a) o corodează (b) prin acizii eliberați

Cea mai mare parte din elementele minerale se fixează direct pe micelele coloidale ale solului, ceea ce face ca soluția care circulă prin capilarele solului să fie foarte diluată.

Soluția solului se concentrează puțin la aplicarea îngrăşămintelor, ceea ce demonstrează că şi fixarea acestora se face tot pe particulele complexelor adsorbante, organice şi minerale din sol. Adsorbția fizico-chimică, cunoscută şi sub denumirea de capacitate de schimb a solului este modalitatea cea mai importantă pentru nutriția radiculară a plantei. Cele mai bogate în cationi sunt solurile castanii din zonele secetoase de câmpie şi cernoziomurile. În podzoluri, predomină ionii de H^+, întrucât ionii nutritivi sunt spălați rapid în profunzime, datorită precipitațiilor abundente.

Importanța microorganismelor în descompunerea substanțelor orga-nice din sol şi aprovizionarea plantelor cu nutrienți solubili este cunoscută şi benefică, mai ales, în cazul speciilor de plante cu micorize ectotrofe, la care ciupercile înconjoară rădăcinile plantei-gazdă. Interacțiunile dintre rădăcini şi

microorganisme pot influența direct absorbția nutrienților. Infecțiile foarte moderate pot provoca acumularea de fosfat în coloniile microbiene din apropierea suprafeței rădăcinii, precum şi în țesuturile de conducere (BARBER, 1968; BOWEN şi ROVIRA, 1969). Metabolizarea fosforului în acizi nucleici şi alți compuşi de către bacterii, reduce proporția de fosfat absorbit de către rădăcini, iar fosfatul care rămâne în stare solubilă este transportat, în cantități mici, în lăstarii aerieni.

Efectele competitive ale bacteriilor sunt mai evidente când aprovizionarea cu fosfor este scăzută; dacă concentrația externă creşte mult peste normal în soluția solului, atunci aprovizionarea cu fosfat satisface atât microorganismele cât şi planta.

Zona activă de absorbție a elementelor minerale la nivelul rădăcinii, rămâne zona piliferă. Se consideră că activitatea acestui compartiment nu poate fi separată de activitatea microorganismelor. Perii radiculari secretă, uneori, picături de lichid, iar microorganismele intervin, modificându-le forma inițială (ATANASIU, 1984).

Prin zonele active ale rădăcinii, plantele absorb substanțele minerale disociate sub formă de ioni, atât din soluția solului cât şi direct de pe suprafața particulelor de sol, pe baza schimbului ionic.

Trecerea ionilor din soluție pe suprafața rădăcinii se realizează prin curentul de apă ce urmează a fi absorbit pasiv (Mg, Ca) sau prin difuziune, datorită diferenței de concentrație (K,P).

Cercetările efectuate au stabilit că ionii sunt absorbiți inegal şi selectiv. Astfel, din azotatul de calciu este absorbit mai intens ionul NO_3^- şi mai puțin intens ionul de Ca^{++}, ceea ce conduce la alcalinizarea soluției, această sare fiind considerată fiziologic bazică. Din sulfatul de amoniu este absorbit mai intens ionul NH_4^+, comparativ cu ionul SO_4^{--}, dezechilibrul creat conducând la acidifierea soluției, motiv pentru care sulfatul de amoniu este considerat o sare fiziologic acidă. Din azotatul de amoniu, ionii sunt absorbiți în mod aproape egal, ceea ce face să fie considerat o sare fiziologic neutră. Din soluția solului bogată în diferiți ioni, rădăcina va absorbi în funcție de afinități fie anionii, fie cationii prezenți permanent în substrat.

3.3.2. Ritmul de absorbție al elementelor minerale

Pe parcursul dezvoltării lor, de la sămânță la sămânță, plantele trec prin diferite faze de vegetație, care se deosebesc din punct de vedere al cerințelor față de hrană, lumină, temperatură şi alți factori de mediu. Fiecare fază de creştere şi dezvoltare individuală a organismelor vegetale se caracterizează prin modificări atât în procesele de schimb de substanțe, în organism, cât şi în cerințele față de condițiile mediului în care trăiesc. Prin urmare, fiecare plantă va avea ritmul său de creştere şi de absorbție a nutrienților, cu modificările specifice în ceea ce priveşte raportul dintre substanțele minerale asimilate.

Plantele se deosebesc între ele atât în privința ritmului de nutriție, cât şi prin durata perioadei de vegetație. Cunoaşterea particularităților ritmului de asimilare a elementelor nutritive în fiecare fază de vegetație are o importanță deosebită în alegerea celor mai potrivite îngrăşăminte, doze, rapoarte şi epoci de administrare. Astfel, prezența în exces sau insuficiența, sau chiar absența unui element de nutriție, influențează în mod hotărâtor dezvoltarea ulterioară a plantelor, formarea organelor vegetative, de fructificare şi, în consecință, calitatea şi cantitatea recoltei.

Se disting două perioade de consum a elementelor nutritive la plante: perioada critică a nutriției plantelor şi perioada consumului maxim.

Perioada critică a nutriției plantelor coincide cu primele faze de creştere şi dezvoltare, când excesul sau insuficiența dar şi existența unui raport neechilibrat între nutrienți, au o acțiune nefavorabilă asupra evoluției ulterioare a plantelor. În această perioadă, plantele se caracterizează printr-un conținut mai ridicat în azot şi potasiu, mai puțin ridicat în fosfor şi alte elemente; această situație demonstrează cerințele mai mari pe care le au plantele pentru azot şi potasiu. În general, plantele trebuie să fie aprovizionate cu nutrienți, în cantități suficiente şi echilibrate încă din primele faze de creştere.

Perioada consumului maxim corespunde cu fazele de creştere mai înaintate, când nutrienții sunt absorbiți în cantități mult mai mari decât în primele faze de vegetație. Această perioadă este identică cu perioada eficienței maxime, când substanțele nutritive au cea mai favorabilă influență asupra creşterii şi dezvoltării plantelor. Perioada consumului maxim nu coincide la toate plantele cu aceleaşi faze de vegetație. Sub raportul perioadei critice a nutriției şi a consumului maxim, există o serie de diferențe la principalele culturi (grâu, porumb, legume, cartof etc.).

La **grâu** şi **secară de toamnă**, perioada critică a nutriției este la apariția celei de a treia frunze şi la începutul înfrățirii. Perioada consumului maxim începe după înfrățire şi se extinde până la înflorire.

La **cerealele de primăvară** (grâu de primăvară, orz, ovăz), perioada critică a nutriției este la înfrățire, iar perioada consumului maxim în faza de intrare în burduf şi până la înspicare.

La **porumb**, perioada critică a nutriției cu azot este la începutul creşterii plantelor, iar pentru fosfor când plantele au şapte frunze. Perioada consumului maxim se constată în timpul înfloririi şi coacerii în lapte.

La **sfecla de zahăr**, perioada critică a nutriției este la apariția celei de a doua şi a treia perechi de frunze, începutul îngroşării rădăcinii şi începutul depunerii intense a zahărului. Perioada consumului maxim a nutrienților se situează pe la mijlocul perioadei de vegetație.

La **cartof**, perioada critică a nutriției este la apariția celei de a treia şi a patra perechi de frunze şi începutul apariției inflorescenței. În schimb, perioada consumului maxim are loc la începutul înfloririi şi formării tuberculilor. După înflorire, o nutriție bogată în azot dăunează formării tuberculilor.

La **legume**, perioada critică a nutriției este la apariția primelor frunze şi la formarea inflorescențelor. Înflorirea, fructificarea şi depunerea substanțelor de rezervă sunt momentele care se suprapun perioadei consumului maxim de nutrienți.

La **pomii fructiferi**, perioadele critice de nutriție nu sunt limitate la o anumită fază de vegetație, întrucât aici are loc o acumulare intensă a elementelor de nutriție în perioada a doua de vegetație, care apoi sunt reutilizate în anul următor. Perioada consumului maxim se extinde aproape pe întreaga perioadă de vegetație. Periodicitatea producției la pomii fructiferi este legată, în mare măsură, de aprovizionarea cu elemente nutritive.

Pomii fructiferi au nevoie încă de la începutul perioadei de vegetație de cantități mari de azot. Consumul de azot sporeşte în perioada creşterii intense a lăstarilor şi până la formarea mugurilor terminali. Consumul maxim de fosfor şi potasiu se extinde de la perioada de înflorire, până la coacerea fructelor.

Cunoaşterea fazelor de creştere şi dezvoltare, a perioadelor critice ale nutriției şi consumului maxim, permite stabilirea modului de aplicare diferențiat a

fertilizanților. Astfel, la plantele care au o perioadă scurtă a consumului maxim de nutrienți, îngrăşămintele vor fi aplicate înainte de însămânțare. La plantele care au o perioadă lungă a consumului maxim (porumb, cartof, pomi fructiferi etc.), pe lângă fertilizarea de bază se aplică şi fertilizarea foliară, în scopul echilibrării necesarului de elemente nutriționale.

3.4. TRANSPORTUL ŞI ACUMULAREA ELEMENTELOR MINERALE ÎN PLANTE

Ionii minerali odată absorbiți vor fi utilizați în plantă conform rolului lor fiziologic specific. Există ioni (NO_3^- şi NH_4^+) care participă imediat după momentul absorbției lor, la sinteza secundară a aminoacizilor. O altă categorie de ioni sunt vehiculați din citoplasmă în vacuolă, unde se depozitează, asigurând astfel reglarea potențialului osmotic al celulelor radiculare şi menținerea gradului normal de hidratare.

Întrucât nu toți ionii absorbiți sunt metabolizați în rădăcini, o parte, mai ales mulți cationi , circulă prin plasmodesme de la nivelul radicular al plantei până în xilem; împreună cu apa ei formează seva brută care se va repartiza ulterior la nivelul organelor supraterestre ale plantei. Seva brută circulă ascendent sub influența curentului de transpirație (fig.3.4, ATANASIU, 1984).

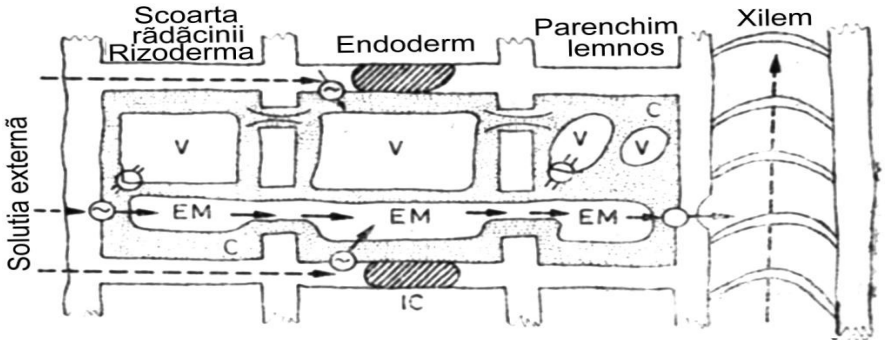


Fig. 3.4. Schema transportului ionilor din soluția externă în xilem

Ionii transportați prin vasele de lemn (xilem) sunt orientați spre vârfurile de creştere, frunze, flori şi fructe, unde se acumulează la nivel celular sub formă de combinații complexe, de ioni în citoplasmă sau sub formă de ioni în vacuolă.

Transportul ionilor ca şi absorbția lor în plante, se face activ prin transportori şi pasiv (schimb de ioni şi difuzie liberă).

În plante se acumulează o cantitate mare de ioni care depăşeşte cantitatea de ioni din mediul extern (sol şi apă). Acumularea ionilor este activă şi selectivă. Elementele cu rol plastic (N, P, S) intră în moleculele organice complexe; la plantele superioare, K se acumulează sub formă de ioni în frunze, în țesuturile tinere iar Ca se acumulează sub formă de ioni şi de oxalat de Ca (în sucul vacuolar).

Prin vasele de lemn circulă ascendent foarte rapid ionii de N, P şi K care sunt foarte mobili. Ionii de S, Mg şi Na circulă cu o mobilitate intermediară, iar ionul de Ca se situează la polul opus, în sensul că este ionul cel mai puțin mobil.

Există substanțe minerale care se acumulează sub formă solidă în compuşii cristalini (incluziuni celulare), cum este cazul oxalatului de calciu din vacuola celulară. În acest constituent neviu al celulei, oxalatul de calciu va anihila toxicitatea unor produşi ai metabolismului intermediar.

În general, viteza de circulație ascendentă a nutrienților prin xilem este mare (20 m/h la mesteacăn sau 60 m/h la stejar). Unele elemente minerale (P) pot circula ascendent şi prin floem însă viteza de circulație prin acest segment este mult mai scăzută (0,5 m/h la pin). Transportul lateral al sărurilor minerale, de la xilem spre floem, prin traversarea cambiului, a fost demonstrată prin experiențele efectuate cu izotopi radioactivi. Se consideră că țesutul cambial, care separă xilemul de floem, reglează cantitatea de săruri care urmează a fi transportată în sus, lateral şi spre bază. Prin urmare, la nivelul floemului, mişcarea ionilor este bidirecțională. În frunze, cantitatea de ioni acumulați se măreşte în cursul vegetației. O parte din nutrienții care nu îşi găsesc imediat întrebuințarea, pot să părăsească aceste compartimente. Dintre aceştia fac parte sărurile cu azot, sulf, potasiu, fosfor şi clorurile. În anumite condiții pot să părăsească frunzele şi sărurile de fier şi de magneziu. În schimb, nu părăsesc frunzele sărurile de calciu, mangan şi sărurile acidului boric. Transportul sărurilor minerale din frunze spre alte compartimente ale plantei are loc prin floem; în jos spre rădăcini sau în partea opusă, spre vârful tulpinii. Acest transport are loc, de regulă, la frunzele mature, în cazul frunzelor tinere, transportul sărurilor minerale fiind aproape inexistent. De regulă, frunzele tinere sustrag un supliment de substanțe minerale de la frunzele mature şi îmbătrânite; acest fenomen este mai evident când în plante există un deficit nutrițional.

În concluzie, se poate spune că transportul elementelor minerale în corpul plantelor urmează patru direcții: rapidă în sus (prin xilem şi chiar prin floem); în

jos (prin floem) simultan cu mişcarea în sus (prin xilem); lentă (între xilem şi floem) şi de la frunze spre rădăcini, înainte de căderea frunzelor (prin floem).

3.5. ELIMINAREA (EXCREȚIA) ELEMENTELOR MINERALE DE CĂTRE PLANTE

O parte din elementele minerale absorbite de plante sunt eliminate din corpul lor, alături de o serie de substanțe organice (acizi organici, glucide, proteine, vitamine, hormoni şi enzime), mai ales spre sfârşitul perioadei de vegetație.

Excreția sau desorbția este dependentă de vârsta plantei, de concentrația unor săruri sau de reacția solului. Conform cercetărilor întreprinse de RATNER (1937), eliminarea ionilor de către plante este legată de reacția soluției solului. Astfel, ionii de potasiu şi calciu se desorb, mai ales când soluția solului are reacția acidă. Când solul are reacție alcalină, desorbția acestor ioni se realizează mai slab. În ceea ce priveşte desorbția anionilor, s-a constatat că leguminoasele pot elimina prin rădăcinile lor cantități apreciabile de fosfor şi azot, sub formă de aminoacizi. Acest proces este normal la leguminoase întrucât se corelează cu existența bacteriilor fixatoare de azot, din nodozitățile de pe rădăcinile acestor plante. Este cunoscut faptul că leguminoasele sunt plantele care excretă cel mai mult.

Prin faptul că plantele elimină prin rădăcini diferite substanțe minerale şi organice cu moleculă mică, în jurul rădăcinilor se dezvoltă o microfloră bogată. Se creează astfel o zonă de influență, de atragere a microorganismelor, zonă care a primit denumirea de **rizosferă**.

Rizosfera cuprinde patru subzone: radiculară, periradiculară, rizosfera propriu-zisă şi endosfera (ŞTEFANIC, 1950). Ea atrage microorganismele prin chemotactism şi se constituie într-un mediu ecologic deosebit de restul solului. Aportul microorganismelor se materializează mai evident în zona din jurul rădăcinilor plantei şi scade spre periferia sistemului radicular unde se găsesc puține microorganisme (fig.3.5).

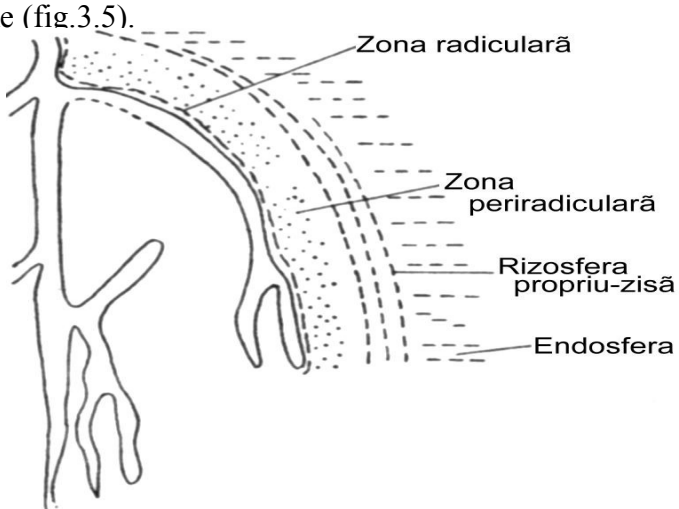


Fig. 3.5.
Zonele rizosferei

Microflora rizosferei, mai ales cea de la leguminoase, produce acizi organici (acidul cetoglutaric) folosiți ca solubilizanți pentru fosforite şi silicați. Aceşti acizi organici fixează cationii sub formă de chelați şi reduc spălarea lor în adâncime, mărind astfel disponibilul nutrițional pentru plantele cultivate.

Prezența ciupercilor în microflora rizosferei facilitează procesele de descompunere a resturilor vegetale cu amidon şi celuloză, obținându-se substanțe organice cu moleculă simplă prin care se poate regla pH-ul solului şi proporția dintre bacterii şi ciuperci.

Excreția substanțelor prin rădăcini nu trebuie confundată cu spălarea elementelor minerale, mai ales din partea superioară a plantelor, care se produce odată cu apa de ploaie sau de rouă. La sfârşitul perioadei de vegetație, plantele excretă cea mai mare cantitate de ioni minerali, datorită îmbătrânirii coloizilor protoplasmatici şi scăderii capacității lor de reținere a ionilor. De aceea, precipitațiile de la sfârşitul perioadei de vegetație "spală" plantele, antrenând cantități importante de nutrienți. Astfel de situații influențează negativ calitatea furajelor şi a fructelor.

Semnificația ecologică a produşilor excretați este evidentă, în sensul că în competiția inter- şi intraspecifică aceste substanțe pot acționa ca atractive sau ca respingătoare pentru animale sau microorganisme. Nu trebuie trecut cu vederea nici efectul alelopatic, adică efectul produs de acele substanțe rezultate în urma degradării materiilor organice din sol, care ajung în vecinătatea rădăcinilor altor specii (ATANASIU, 1984).

3.6. CARENȚELE ÎN ELEMENTE MINERALE ŞI DIAGNOSTICAREA LOR

Starea de aprovizionare cu elemente necesare, în cantități şi rapoarte cerute de particularitățile biologice ale fiecărei plante, se reflectă în mod fidel în caracterul creşterii şi dezvoltării lor.

Carența în elemente de nutriție se manifestă prin modificări morfologice, structurale, prin modificări ale compoziției chimice a frunzelor şi a altor organe.

Primele constatări se fac la frunze care îşi schimbă culoarea, forma, mărimea, suprafața şi caracterul pozițional pe tulpină sau ramură.

Schimbarea aspectului exterior al plantei, datorită carenței în elemente de nutriție, de obicei începe fie cu frunzele din partea inferioară, fie cu cele din partea superioară a plantei. Astfel, carențele în N, P, K şi Mg se manifestă la început pe frunzele din părțile inferioare ale plantei, pe când carențele în Fe, Mn, B şi Mo încep să se manifeste pe frunzele tinere de la vârfurile de creştere.

Fenomenele de "foame" ale plantelor nu totdeauna sunt cauzate de carența unuia sau altui element din sol. Carențele pot apărea şi datorită antagonismului ionilor din soluția solului. Astfel, când în sol există un exces de calciu, fierul, care de obicei este prezent în cantități suficiente, devine inaccesibil pentru plante, ceea ce duce la apariția de cloroză îndeosebi la pomii fructiferi.

Modificările morfologice se pot datora şi excesului unor ioni. Astfel, în solurile acide, excesul de aluminiu şi mangan sau în solurile saline şi alcaline, excesul de clor şi sodiu provoacă desfăşurarea unor procese fiziologice anormale. Acestea duc la diferite modificări ale formelor exterioare, la distrugerea unor părți din țesuturi sau chiar la moartea plantei.

Unele modificări exterioare se datorează nu numai carenței sau excesului în elemente de nutriție, ci şi altor cauze. De exemplu, lipsa sau excesul de apă în sol, temperatura coborâtă în timpul primăverii, atacul dăunătorilor şi agenților patogeni ai plantelor, infiltrațiile apelor reziduale, poluarea atmosferei etc., conduc la apariția unor modificări a caracterelor morfologice ale plantei, uneori asemănătoare celor provocate de carențele în nutriție.

Condițiile meteorologice contribuie şi ele, în mare măsură, la modificarea cerințelor biologice ale plantelor în elemente de nutriție în diferite faze de creştere, determinând, mai mult sau mai puțin, carența în nutriție.

Când se procedează la **diagnosticarea carențelor**, este necesar să se stabilească mai întâi modul cum îşi manifestă plantele cerințele față de un element (plante foarte sensibile, moderat sau puțin sensibile) şi caracterul proceselor

fiziologice în perioada considerată a creşterii şi dezvoltării plantelor (BĂRBAT şi CALANCEA, 1970).

Carențele apar nu numai datorită unor stări naturale de fertilitate a solului, ci ele apar câteodată şi în urma unor acțiuni mai puțin cugetate ale omului. Astfel de cazuri se întâlnesc acolo unde un element găsindu-se în cantități mici, în momentul în care se aplică alte elemente în cantități mari, primul devine greu accesibil plantelor din cauza acțiunii antagoniste a celor care s-au administrat ulterior în sol.

Elementele de nutriție trebuie să se găsească în cantități suficiente şi în rapoarte echilibrate, în funcție de cerințele biologice ale fiecărei specii de plante şi pe parcursul întregii perioade de vegetație.

3.6.1. Carența în azot

Carența în azot are o influență negativă asupra proceselor de sinteză a aminoacizilor, proteidelor, clorofilei, asupra proceselor biocatalitice şi, în general, asupra tuturor proceselor de schimb din plantă. La rândul lor, toate acestea duc la modificarea structurii şi funcțiilor celulelor şi țesuturilor. Astfel, are loc descompunerea clorofilei, slăbirea turgescenței celulare şi îmbătrânirea prematură a celulelor şi țesuturilor. Vârful de creştere al plantei se dezvoltă mai încet. Activitatea meristemului floral este redusă. Lungimea frunzelor este mai mică decât cea normală, capacitatea de înfrățire a cerealelor este micşorată. Numărul boabelor în spice la cereale este mai mic şi de calitate inferioară. Această carență se întâlneşte cel mai frecvent pe solurile podzolice, nisipo-lutoase, luto-argiloase şi sărace în materie organică. Se manifestă cel mai frecvent primăvara timpuriu şi la apariția unei perioade reci la începutul perioadei de vegetație. Carența în azot se constată şi în timpul verii, în perioada creşterii maxime. Fenomenul se constată pe solurile cu exces de apă şi în solurile acide. În primul caz, se datorează aerației slabe care împiedică desfăşurarea normală a procesului de nitrificare şi în al doilea caz, se datorează unei activități biologice slabe din sol.

În tabelul 3.1. sunt prezentate simptomele carenței în azot la câteva plante de cultură.

Tabelul 3.1.

Simptomele carenței în azot

Planta	Simptomele carenței în azot	Plante indicatoare
Porumb	Frunzele sunt de culoare verde-gălbui. La cele bătrâne, extremitățile şi nervura mediană se brunifică. Tulpina este subțire.	porumb, varză, conopidă, salată, măr, coacăz negru
Grâu, orz, ovăz, secară	Frunzele sunt mai înguste decât cele normale şi vârfurile lor se usucă. Înfrățirea este slabă şi spicul are dimensiuni mici.	
Cartof	Frunze sunt mici, alungite, de culoare verde deschis. Cele bătrâne şi cele inferioare sunt gălbene şi cad. Tulpinile sunt subțiri şi cresc erect, iar tuberculii sunt mici.	
Sfeclă de zahăr	Frunzele au culoare verde deschis care apoi devine roşu închis până la purpuriu. Mărimea lor este subnormală, sunt alungite şi dispuse vertical.	
Măr	Frunze sunt mici, verde deschis, iar cele bătrâne sunt colorate în oranj sau purpuriu şi cad prematur. Ramurile tinere sunt scurte, subțiri şi brunificate.	

3.6.2. Carența în fosfor

Carența în fosfor are efecte negative asupra proceselor de sinteză a aminoacizilor şi asupra multor alte substanțe fiziologic active. Plantele se dezvoltă slab, la fel şi fructificarea şi calitatea produselor este slabă. Frecvent se întâlneşte pe solurile acide, unde datorită prezenței în cantități mai mari a aluminiului, manganului şi fierului mobil, fosforul este imobilizat de acestea în fosfați greu accesibili plantelor.

Carența în fosfor se întâlneşte des şi pe solurile bogate în carbonat de calciu, unde se mobilizează sub formă de fosfați bicalcici şi tricalcici. Pe aceste soluri carența în fosfor se manifestă mai puternic în perioada consumului maxim, respectiv a creşterii maxime a plantelor. O aerare slabă, un regim de umiditate

defectuos, o îmburuienare puternică pot cauza într-o măsură mai mare sau mai mică carența în fosfor.

Simptomele carenței în fosfor se evidențiază mai greu decât la alte elemente şi numai în cazul când aceasta este acută. Primăverile răcoroase sunt, de obicei, favorabile aparenței acestei carențe, care se manifestă în mod diferit de la plantă la plantă, după cum reiese din tabelul 3.2.

Tabelul 3.2.

Simptomele carenței în fosfor

Planta	Simptomele carenței în fosfor	Plante indicatoare
Porumb	Frunzele sunt verzi, purpurii şi se răsucesc în timpul creşterii. Maturarea este întârziată, iar ştiuleții sunt slab dezvoltați şi incomplet acoperiți cu boabe.	salată, tomate, porumb, cartof, măr, coacăz negru
Grâu, orz, ovăz, secară	Frunzele sunt de culoare verde albăstruie cu nuanțe purpurii. Internodiile sunt mai scurte şi spiculețele sunt slab dezvoltate.	
Cartof	Frunzele apar răsucite, cu arsuri marginale. Cele verzi închise la culoare cresc drept şi se răsucesc. Tuberculii pot avea leziuni interne.	
Sfeclă de zahăr	Frunzele sunt mici, cu pețiol scurt, de culoare verde închis spre albăstrui spălăcit sau roşcat. Creşterea este slabă. La plantele mature, frunzele sunt gălbui şi răsucite.	
Măr	Frunzele sunt mici, de culoare verde-închis. Ulterior, apar nuanțe bronzate sau purpurii şi frunzele încep să cadă. Foliajul este dispersat.	

3.6.3. Carența în potasiu

Carența în potasiu conduce la îmbătrânirea prematură a celulelor rădăcinilor, micşorează gradientul osmotic, permeabilitatea şi vâscozitatea celulelor. Micşorează rezistența la ger, la boli, capacitatea de înfrățire şi calitățile

tehnologice ale plantelor. În tabelul 3.3. sunt prezentate simptomele carenței în potasiu la câteva plante.

Tabelul 3.3.

Simptomele carenței în potasiu

Planta	Simptomele carenței în potasiu	Plante indicatoare
Porumb	Frunzele îmbătrânite sunt gălbui sau cu dungi galben-verzui. Marginea frunzelor este necrozată, iar internodiile sunt scurte. Vârfurile ştiuleților sunt ascuțite.	orz, ovăz, secară, cartof, sfeclă de zahăr, lucernă, trifoi, fasole
Orz, ovăz, secară	Pe marginea frunzelor apare necrozarea caracteristică.	
Cartof	În prima perioadă de creştere, frunzele au o culoare verde-închis. Frunzele bătrâne se îngălbenesc şi se brunifică la vârf şi la margini.	
Măr	Marginile frunzelor sunt necrozate, iar fructele au o colorație slabă.	

Test de autocontrol

1. Substanțele minerale reprezintă pentru plantă:
    a. un mijloc de apărare împotriva factorilor de mediu nefavorabili

b. o alternativă de stocare a energiei luminoase
c. hrana propriu-zisă
d. o sursă de alimentare pt microorganisme

2. Confirmați câteva dintre procesele fizice implicate în accesul nutrienților în plante:
   a. osmoza şi plasmoliza
   b. schimbul ionic şi difuzia
   c. imbibiția şi absorbția
   d. plasmoliza şi deplasmoliza
3. Ce reprezintă rizosfera pentru plante?
   a. un compartiment al rădăcinii
   b. zona de contact dintre rădăcină şi tulpină
   c. zona de atragere a microorganismelor din sol
   d. sursa de hrană pentru celulele rizodermei
4. Primele indicii referitoare la carențele în nutrienți din plante se manifestă prin:
   a. accelerarea ritmului respirator
   b. reducerea taliei plantei
   c. scăderea intensității fotosintezei
   d. modificări de culoare, formă şi mărime a organelor

C a p i t o l u l 4
FOTOSINTEZA

4.1. DEFINIȚIA ŞI IMPORTANȚA FOTOSINTEZEI

Fotosinteza este cel mai important proces fiziologic prin care plantele verzi îşi prepară din molecule foarte simple şi universal răspândite (apă, CO_2 şi săruri minerale), o gamă variată de substanțe organice, în prezența luminii şi a clorofilei, punând în libertate oxigenul. Acest proces poate fi exprimat prin următoarea relație:

$$6\ CO_2 + H_2O \xrightarrow[\text{clorofila}]{\text{lumina}} C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2$$

Termenul de fotosinteză a fost dat în anul 1877 de către fiziologul german PFEFFER, de la cuvintele greceşti *photos* (lumină) şi *synthesis* (combinație, sinteză).

Fotosinteza constă dintr-un schimb de gaze şi anume din absorbția CO_2 din atmosferă şi eliminarea O_2 în atmosferă, acest schimb desfăşurându-se invers în cadrul procesului fiziologic de respirație. Materialul organic sintetizat în urma fotosintezei urmează a fi exploatat în respirație, între cele două procese fiziologice opuse stabilindu-se relații directe (fig.4.1, HOPSON şi WESSELLS, 1990).

Fotosinteza este specifică plantelor autotrofe, acestea procurându-şi singure materialul organic necesar, apelând în acest scop la gama variată de substanțe minerale pe care le absorb din mediul extern. La polul opus, se află plantele heterotrofe care utilizează carbonul din substanțele organice gata sintetizate de plantele autotrofe.

În demersul lor de a sintetiza material organic, plantele autotrofe pot utiliza energia luminii solare sau energia chimică produsă prin oxidarea unor substanțe minerale (H_2S, NH_3 etc.). Astfel, după natura energiei utilizate, plantele se împart în fotoautotrofe şi chemoautotrofe, acestea din urmă fiind specializate în procesul de chimiosinteză.

Importanța fotosintezei este covârşitoare întrucât de ea depinde existența tuturor viețuitoarelor de pe Pământ, inclusiv a omului. Pornind de la frunza verde care reprezintă sediul derulării fotosintezei şi de la clorofilă care se constituie în entitatea receptivă la energia solară în care îşi găsesc răspuns toate manifestările vieții de pe Pământ, putem contura importanța acestui proces fiziologic în câteva puncte distincte:

- Fotosinteza reprezintă singurul mijloc prin care se fixează şi se conservă pe pământ energia venită de la un alt corp ceresc (soarele), iar plantele

converg această energie luminoasă în energie chimică, în acest mod accesibilă exploatării ei în toate procesele vitale specifice lor.

Cantitatea de energie solară înmagazinată pe timp de un an la nivelul biosferei este uriaşă. Ea este de 10.000 de ori mai mare decât energia obținută pe plan mondial prin arderea carburanților fosili sau prin alte mijloace (hidrocentrale).

Socotind că eficiența fotosintezei în fixarea energiei solare variază între 0,1-1%, se poate susține că biosfera planetei acumulează într-un an de 10-100 de ori mai multă energie decât cea vehiculată prin actuala tehnologie (SORAN şi RAKOSY, 1993).

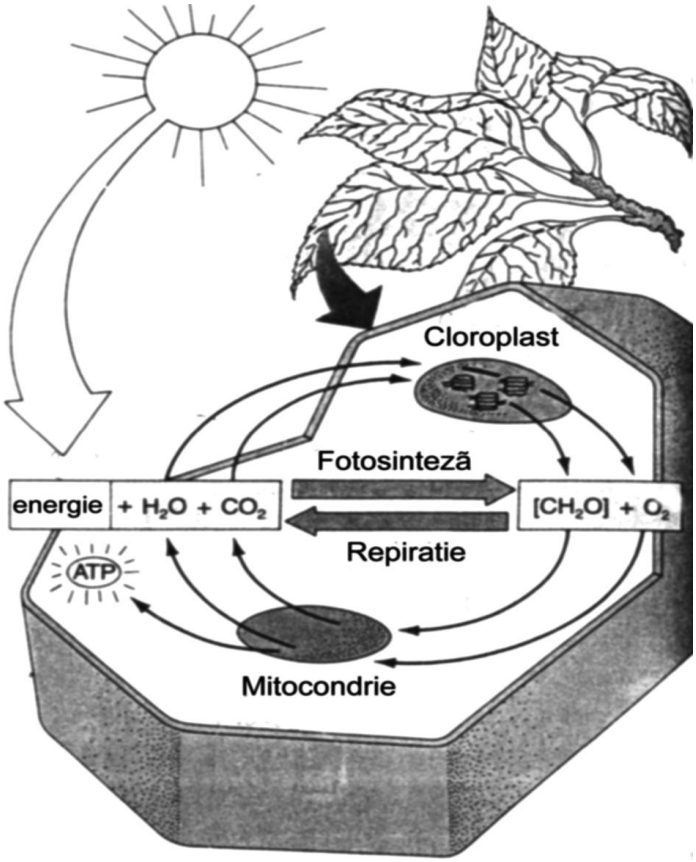


Fig. 4.1. Fotosinteza şi respirația, procese fiziologice opuse

- Fotosinteza se constituie în sursa primară de formare a întregii cantități de substanțe organice acumulate pe Pământ, sub diferite forme: glucide, proteine, lipide, vitamine, hormoni, enzime etc.

- Fotosinteza asigură purificarea continuă a atmosferei, prin eliberarea oxigenului care se menține astfel între limitele optime pentru respirație; prin asimilarea unei tone de carbon, plantele pun în libertate 2,7 tone O_2 (Suciu şi Milică, 1982).
- Fotosinteza dă posibilitatea plantelor verzi de a fixa carbonul din aer sau apă şi de a forma substanțe organice ternare, de tipul glucidelor, în urma unor reacții complexe de oxidare şi reducere.

În ciuda eforturilor depuse pentru studiul fotosintezei, încă mai există aspecte neelucidate. Se cunosc suficient de precis reacțiile de întuneric ale fotosintezei, reacții implicate în fixarea CO_2 şi în sinteza diferitelor substanțe organice. Mai puțin însă au fost descifrate reacțiile de lumină: captarea fotonului de către molecula de clorofilă, transmiterea energiei fotonului substanțelor organice, esența fotolizei apei etc.

Importanța fotosintezei îndeamnă pe mulți cercetători să studieze posibilitățile realizării "in vitro", adică în afara organismelor fotosintetizatoare, a unor fotoreacții care să conducă la formarea unor carburanți gazoşi, lichizi sau chiar solizi.

Modelarea "in vitro" a fotosintezei va constitui cea mai însemnată revoluție energetică a omenirii, deschizându-se astfel posibilitățile folosirii din plin a virtuților multiple ale unei surse gratuite, respectiv energia solară.

4.2. CLOROPLASTELE, BATERII SOLARE MINIATURIZATE

Cloroplastele sunt plastide verzi care se găsesc în toate celulele organelor verzi ale plantelor şi anume: în frunze, tulpini ierboase, ramuri tinere, fructe necoapte etc.

Aceste organite se deosebesc de celelalte plastide şi de mitocondrii printr-o mare sensibilitate faţă de modificarea presiunii osmotice. De asemenea, cloroplastele au mare putere de reducere, au o densitate mai mare decât citoplasma, iar proprietăţile lor osmotice sunt determinate de membrana dublă care le individualizează.

Culoarea verde a cloroplastelor este condiţionată de o serie de pigmenţi, dintre care cel mai important este clorofila. În afară de aceasta, în cloroplaste se mai află betacaroten şi xantofilă, denumiţi generic carotenoizi. Ei sunt mascaţi în frunzele verzi de culoarea verde a clorofilei şi numai toamna se evidenţiază când conţinutul de clorofilă se micşorează. Prin natura lor, carotenoizii sunt înrudiţi cu vitamina A.

Se deosebesc mai multe tipuri de clorofilă, şi anume: a, b, c şi d, dintre ele cea mai răspândită fiind clorofila a, care se găseşte în toate plantele autotrofe. Molecula de clorofilă este asimetrică, având un "cap" hidrofil format din patru inele pirolice dispuse în jurul atomului de magneziu (Mg) şi o "coadă" lungă, hidrofobă, alcătuită din fitol.

Între arhitectura cloroplastului şi activitatea lui funcţională există o strânsă corelaţie, în acest organit realizându-se procese metabolice extrem de complexe: fotosinteza, sinteza compuşilor macro- şi micromoleculari (glucide, aminoacizi, nucleotide, lipide etc.) şi sinteza ATP. Pe lângă acestea, el are un mare rol în ereditatea citoplasmatică (ACATRINEI, 1975).

Cloroplastele sunt formaţiuni vii, care îndeplinesc rolul unor baterii solare miniaturizate, convertind energia fotonilor de lumină în substanţă organică. Ele reprezintă sediul în care se realizează întregul proces fotosintetic.

Mecanismul fotosintetic se constituie într-un lanţ de reacţii succesive care necesită, în primele etape, condiţii de lumină (faza Robin Hill) iar în etapele ulterioare, condiţii de întuneric (faza F.Blackmann). Dacă reacţiile de lumină se derulează în grana cloroplastelor reacţiile de întuneric au ca sediu de desfăşurare stroma acestor organite (fig.4.2).

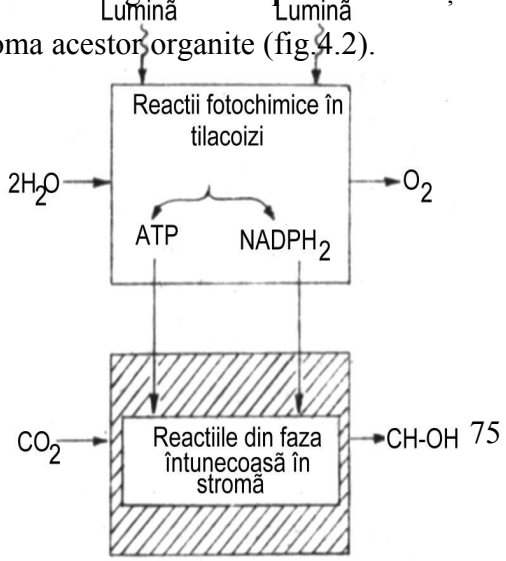


Fig. 4.2. Raportul dintre reacțiile de lumină şi întuneric ale fotosintezei

4.3. REACȚIILE DE LUMINĂ ALE FOTOSINTEZEI (FAZA ROBIN HILL)

Reacțiile de lumină ale fotosintezei realizează, în esență, transfor-marea energiei luminoase în energie chimică depozitată în produşii lor de biosinteză. Această conversie de energie se realizează în două etape:

- în prima etapă, energia luminoasă suferă o primă conversie după ce interacționează cu electronul, când devine energia cinetică a electronului expulzat;
- în etapa a doua, combinându-se cu NADP (nicotin adenin-dinucleotid-fosfat) şi reducându-l, energia cinetică a electronului se transformă în energia chimică pe care o depozitează NADPH.

Generarea de NADPH, pe socoteala energiei luminoase, este **procesul cheie al fotosintezei**, întrucât acest compus este agentul chimic care va reduce CO_2 în glucide şi în alți compuşi organici celulari. De aceea, NADPH este singurul compus care figurează în schema de principiu a ciclului energetic biologic.

Conversia de energie în fotosinteză, se face prin captarea electronilor fotoexcitați şi trimiterea lor de-a lungul lanțului de transportori, înainte de a-şi fi pierdut energia câştigată. Această captare se face de către sistemul de pigmenți cuplat cu sistemul de transfer al electronilor. În plantele verzi, calea principală a electronilor fotoexcitați este NADP.

Toate reacțiile de lumină ale fotosintezei scot în evidență faptul că plantele de-a lungul evoluției lor şi a adaptării la condițiile de mediu în care trăiesc, şi-au elaborat alături de echipamentul de pigmenți necesari pentru absorbția luminii şi mecanisme metabolice capabile să transforme energia solară într-o formă de energie utilizabilă pentru organismul lor. Astfel, toată energia absorbită este folosită, pe de o parte, pentru sinteza NADPH care este reducătorul direct al CO_2, iar pe de altă parte, la sinteza ATP în care recunoaştem furnizorul de energie necesară reacției endo-terme a reducătorului NADPH cu CO_2.

Grupările ATP şi NADPH sunt componentele energetice care rezultă în faza de lumină a fotosintezei, care sunt folosite parțial şi în faza de întuneric pentru reducerea CO_2.

ATP îndeplineşte rolul de suplimentare a NADPH cu energia care îi lipseşte pentru reducerea CO_2. Acest ATP este un produs propriu şi ia naştere în procesul cuplării transportului de electroni cu fosforilarea, în cursul parcurgerii sistemului de transportori.

Grupările macroergice ATP care rezultă prin fotofosforilare nu pot să difuzeze spre citoplasmă, întrucât membrana dublă a cloroplastelor este impermeabilă. Transferul energiei din cloroplaste în citoplasmă şi în diferite organite citoplasmatice, se face prin intervenția triozofosfaților fotosintetizați şi a acidului fosfogliceric, care rezultă din reacțiile de glicoliză.

Faza de lumină a fotosintezei, numită şi **faza Robin Hill**, constă dintr-un lanț de transformări fotofizice şi reacții fotochimice care se desfăşoară în **granele** cloroplastelor. Acestei faze îi sunt caracteristice 3 etape: absorbția CO_2 în cloroplaste, absorbția energiei luminoase şi transformarea energiei luminoase în energie chimică. Celei de a treia etape a fazei Robin Hill îi sunt specifice reacții complexe, de genul: fotofosforilarea ciclică, fotofosforilarea aciclică şi fotoliza apei.

4.3.1. Absorbția CO_2 în cloroplaste

În această etapă, aerul atmosferic încărcat cu CO_2 pătrunde în osteolele stomatelor deschise prin reacția fotoactivă. De la acest nivel, curentul de aer traversează camera substomatică, difuzează în spațiile intercelulare, ajungând astfel în contact direct cu membranele celulozice ale celulelor aferente țesutului lacunar şi palisadic (fig.4.3).

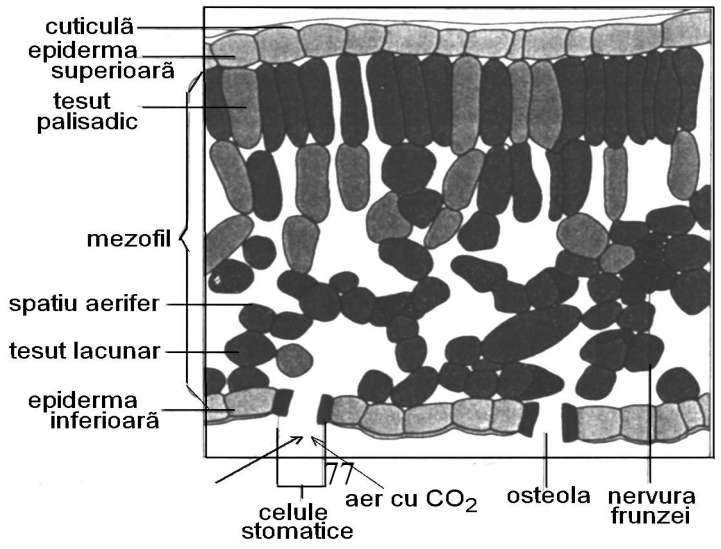


Fig. 4.3. Absorbția CO_2 în frunze

Dacă membranele celulelor asimilatoare din cele două țesuturi sunt umede, CO_2 din aerul localizat în spațiile intercelulare, se dizolvă în apă, trecând în acid carbonic (H_2CO_3). După disociere, acidul carbonic va da forme ionice (HCO_3^-; CO_3^-) care vor pătrunde în citoplasma celulelor asimilatoare, până la nivelul cloroplastelor.

Acest traseu implică, ca o primă condiție necesară derulării fotosintezei, deschiderea stomatelor şi prezența unei hidratări corespunzătoare a țesuturilor foliare. Când stomatele sunt închise, membranele celulare din mezofilul frunzei sunt uscate iar fotosinteza este blocată.

4.3.2. Absorbția energiei luminoase

Această etapă surprinde foarte bine interacțiunea de bază care are loc în procesul fotosintetic dintre macro- şi microcosmos. Interacțiunea se materializează în coliziunea dintre un foton emis de Soare şi un electron de pe orbita unui atom aflat în componența unor molecule speciale (clorofila).

Electronii sunt dispuşi în jurul nucleelor atomilor cărora le aparțin, pe una sau mai multe orbite, care se deosebesc după nivelul lor energetic. Electronii de pe orbitele cele mai apropiate de nucleu sunt cei mai săraci în energie dar sunt şi cei mai strâns legați de nucleul pozitiv, fiind cei mai apropiați. Pentru a se putea desprinde de pe această orbită, ei au nevoie de energie.

Orbitele cele mai îndepărtate vor conține electronii cei mai bogați în energie iar dacă energia pe care o primesc este prea mare ca să mai poată rămâne pe o orbită, ei părăsesc atomul, lăsând o sarcină pozitivă neneutralizată (ionizare).

Ca urmare a ciocnirii cu un foton emis de Soare, electronul îi absoarbe energia, îşi măreşte conținutul energetic care nu mai corespunde nivelului energetic pe care se află şi sare pe o orbită al cărui nivel energetic i se potriveşte, respectiv pe o orbită mai îndepărtată de nucleu. În această situație, electronul energizat se află într-o stare de excitație care este instabilă.

Starea energizantă care dă electronului şi un statut instabil, se poate rezolva în două modalităţi:

- electronul energizat nu părăseşte atomul şi revine pe orbita inițială, la nivelul său energetic cel mai scăzut. În această situație, diferența de energie dintre starea excitată şi cea fundamentală va fi cedată sub formă de căldură sau lumină cu lungime de undă lungă, emisă ca fluorescență (fig.4.4, EȘANU, 1972);
- electronul energizat părăseşte atomul căruia îi aparține, este captat de un transportor şi utilizat ca atare. Golul rămas pe orbită prin plecarea electronului exercită asupra acestuia o acțiune de respingere, dar totodată, favorizează întoarcerea lui instantanee la starea fundamentală.

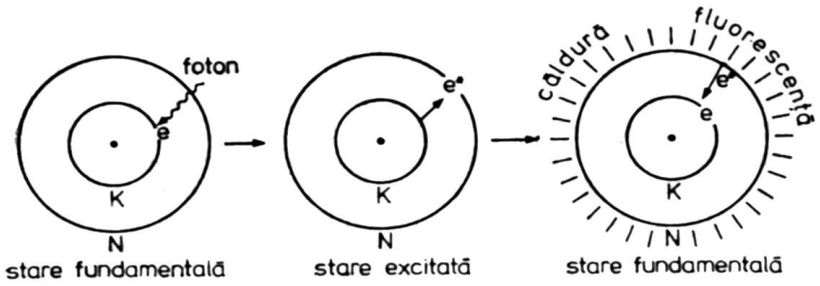


Fig. 4.4. Excitarea cu fotoni a unui atom sau a unei molecule şi revenirea la starea fundamentală după cedarea surplusului de energie (căldură, fluorescență)

Pentru ca un atom sau o moleculă să fie excitați de lumină nu este suficient ca ei să fie luminați, ci este necesar ca ei să şi absoarbă această radiație. Numai aşa ajung în situația de a elimina electroni energizați.

Starea de excitație a unei molecule individuale de clorofilă nu este suficientă pentru a realiza o reacție fotochimică. Trebuie ca această moleculă să fie înconjurată de molecule de clorofilă care reacționează la fel. Se admite că reacțiile fotochimice nu sunt posibile decât în prezența unor unități care grupează numeroase molecule de clorofilă, care transmit energia prin rezonanță şi se găsesc toate în aceeaşi stare de excitație. Conform transferului prin rezonanță, energia absorbită poate fi transferată de la o moleculă la alta sau între grupe de atomi din cadrul aceleiaşi molecule.

Migrarea energiei, prin transferul de rezonanță, este favorizată de modul de aranjare a moleculelor pigmenților în structurile aparatului fotosintetic. Un

asemenea aranjament constituie **antena colectoare de fotoni** (fig.4.5, HOPSON şi WESSELLS, 1990).

Într-o astfel de structură complexă care deține şi un centru de reacție, cuanta de lumină absorbită de pigment va migra de la o moleculă la alta şi ulterior aceasta se va divide, fie în căldură, fie în lumină de fluorescență sau va fi utilizată într-o reacție fotochimică.

În absorbția energiei luminoase, rolul principal îl au pigmenții clorofilieni iar carotenoizii joacă un rol secundar. Dacă pigmenții clorofilieni absorb radiațiile luminoase cu lungimi de undă mare (roşii), cei galbeni (carotenoizii) absorb, cu precădere, radiațiile cu lungimi de undă mai mici (albastre).

Este cunoscut faptul că numai substanțele ce ne apar colorate absorb lumina. Dacă, de exemplu, o substanță absoarbe radiațiile verzi, ea va apărea colorată în roşu, adică în culoarea complementară, întrucât pe aceasta o reflectă. Substanțele incolore nu absorb nici o radiație din spectrul vizibil, iar cele negre le absorb pe toate. Prin urmare, singurele entități care pot absorbi lumina rămân pigmenții verzi şi galbeni dispuşi în granele cloroplastului.

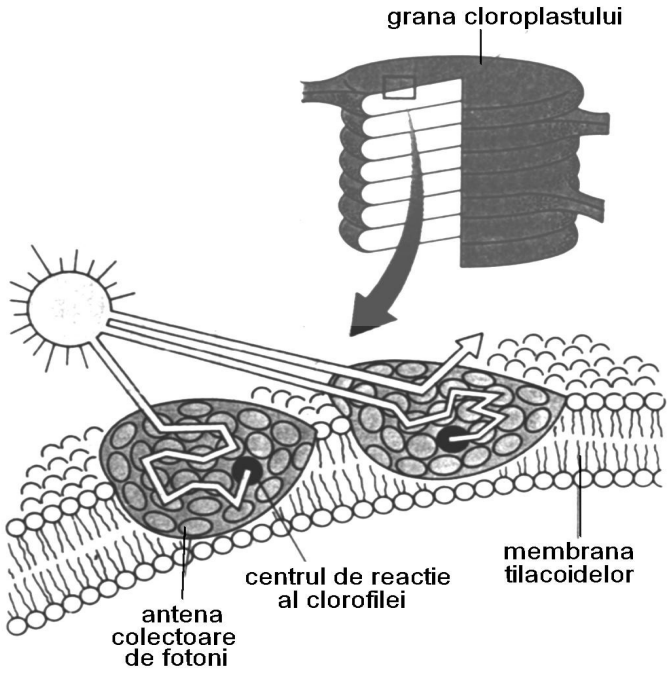


Fig. 4.5. Antena colectoare de fotoni

O caracteristică importantă a pigmenților o constituie existența în edificiul lor molecular, a unui sistem de duble legături conjugate. Un asemenea sistem are proprietatea de a avea unul sau mai mulți electroni mai labili, care pot fi desprinşi

din moleculă când aceasta este în stare de excitare, prin iradierea cu lumina vizibilă. Această proprietate este esențială, întrucât permite pigmenților să fie surse de electroni energizați.

În concluzie, în fotosinteză, sursa de electroni energizați o constituie pigmenții fotosensibili. Pentru ca energia luminoasă absorbită de carotenoizi să poată fi folosită, ea trebuie mai întâi, să fie transferată clorofilelor. Transferul de energie se realizează prin inducție moleculară sau prin fenomene de rezonanță.

4.3.3. Transformarea energiei luminoase în energie chimică

Reacțiile de lumină continuă în această etapă şi se materializează prin: fotofosforilarea ciclică, fotofosforilarea aciclică şi fotoliza apei.

Ca urmare a fotoexcitării, electronul părăseşte molecula de clorofilă, intrând într-un lanț de transportori de electroni. Energia lui va fi eliberată treptat şi, în bună măsură, va fi transformată în energie chimică şi stocată ca atare atât în glucoză cât şi în ATP. Prin urmare, energia pe care o foloseşte celula este cea eliberată de electronii energizați în urma interacțiunii lor cu fotonii şi a absorbției energiei acestora. Simultan, de câte ori scăderea potențialului lor este mai mare decât 7-8000 cal/mol, ia naştere o moleculă de ATP, prin fosforilarea unei molecule de ADP.

Fotofosforilarea ciclică. În acest tip de reacție, clorofila este cuplată cu un sistem de captare şi transfer al electronilor fotoexcitați, în aşa manieră încât, după cedarea lor şi parcur-gerea lanțului de transportori care efectuează acest transfer, clorofila recâştigă electronul şi revine la starea fundamentală. Această stare a fost redobândită prin recombinarea electronului (agent reducător) şi a "golului" de unde a plecat inițial (agent oxidant).

Se cunosc patru transportori care participă la acest transfer sub formă de ciclu a pachetului de electroni energizați: feredoxina, flavo-proteina (FAD), citocromii b şi f.

Astfel, după parcurgerea lanțului de transportori (fig.4.6), electronul inițial energizat şi-a pierdut energia în repetatele reacții de oxidare şi reducere, revenind astfel la nivelul energetic inițial.

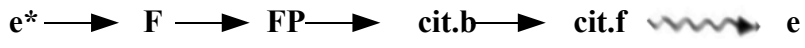


Fig. 4.6. Transferul electronilor de-a lungul lanțului de transportori în cadrul fotofosforilării ciclice

e = electron în stare fundamentală; e* = electron fotoexcitat; F = feredoxină;
FP = flavoproteină; b, f = citocromii b şi f

Fiecare pereche de electroni care parcurge lanțul de transportori eliberează peste 50.000 de calorii. Pentru fiecare dintre aceştia, se sintetizează două molecule de ATP din ADP şi Pa (P anorganic).

Fotofosforilarea aciclică. Există şi o altă cale de a efectua foto-fosforilarea, aceasta implicând cooperarea celor două clorofile, a şi b.

Această cale începe similar fotofosforilării ciclice: clorofila a este iluminată şi absoarbe energia, iar electronii ei energizați sunt preluați de feredoxină. După acest moment, procesul are o desfăşurare proprie. Feredoxina care are un potențial redox foarte ridicat, cedează electronii unui alt transportor, NADP (adenin-dinucleotid-fosfatul). Acesta (NADPH) nu va ceda electronul primit lanțului de transportori, ci va intra ca reducător în procese de biosinteză.

Cooperarea cu clorofila b, intervine când aceasta este excitată de radiația luminoasă: electronul ei energizat va intra în lanțul de transportori care participă şi în fotofosforilarea ciclică. După ce îl va parcurge şi îşi va ceda energia, în paralel cu sinteza a două molecule de ATP, electronul nu se va mai întoarce la clorofila b (locul de unde a plecat), ci va completa golul rămas în molecula-soră, clorofila a.

Prin urmare, NADPH care va reduce CO_2 în vederea generării glucozei, ia naştere din cooperarea a două sisteme de pigmenți care funcționează secvențial. Concomitent, se sintetizează două molecule de ATP, reprezentând energia recuperată din cea eliberată de electronii care parcurg lanțul de transportori. În acest proces, clorofila a cedează electroni care reduc NADP în NADPH, iar clorofila b cedează electroni care completează golurile lăsate în clorofila a.

Golurile existente în moleculele clorofilei b joacă rol de oxidant. Starea de deficit electronic a clorofilei b îi măreşte acesteia puterea oxidativă, ceea ce va face posibilă captarea unui electron din molecula de apă. Astfel, golul se umple, iar molecula de H_2O se disociază, inițiind şi generarea de oxigen. Molecula de apă este scindată în două părți, una reducătoare şi cealaltă oxidantă (**fotoliza apei**):

$$\mathbf{H_2O} \xrightarrow{\text{energie}} \mathbf{H^+ + OH^-}$$

$$\mathbf{OH^-} \longrightarrow \mathbf{1/2\ O_2 + H^+ + 2e}$$

Aparatul fotosintetic dispune de un sistem enzimatic suplimentar care acționează asupra moleculei de apă pe care o scindează, cu punerea în libertate a oxigenului molecular şi a unor ioni de H^+.

În fotoliza apei îşi are originea H^+ utilizat în faza de întuneric pentru reducerea CO_2, precum şi O_2 eliberat în schimbul gazos fotosintetic. Din granele cloroplastelor, O_2 difuzează în citoplasmă, unde este dizolvat în apă, trece în spațiile intercelulare în stare gazoasă şi se elimină în mediul extern, prin osteolele deschise ale stomatelor.

4.4. REACȚIILE DE ÎNTUNERIC ALE FOTOSINTEZEI (FAZA F.BLACKMANN)

În noțiunea de fotosinteză este cuprins întreg procesul de sintetizare a glucozei din CO_2 şi H_2O pe seama energiei solare. Dar nu toate reacțiile biochimice ale fotosintezei necesită lumina solară. Aceasta este absolut necesară numai pentru desfăşurarea primelor stadii ale procesului. După ce energia luminoasă a fost captată şi înmagazinată ca energie chimică, ea nu mai este necesară pentru sinteza glucozei.

Faza care începe cu existența NADPH şi ATP plus CO_2 atmosferic nu are nevoie de lumină pentru desfăşurarea ei. Problema cea mai dificilă a fazei de întuneric a fost găsirea primului acceptor al CO_2, aşa cum problema cea mai spinoasă a fazei de lumină a fost, şi mai este încă, aceea a scindării moleculei de apă.

Faza de întuneric a fotosintezei numită şi **faza F.Blackmann** sau faza termo-chimică enzimatică include anumite reacții biochimice, dependente de temperatură, în care intervin anumite enzime localizate în **stroma** nepigmentată a cloroplastelor.

Principalele reacții ale fazei de întuneric sunt: integrarea carbonului pe o substanță acceptoare, reducerea CO_2, cedarea energiei înmagazinată în ATP şi NADPH în substanțele organice primare formate în fotosinteză (trioze fosforilate) şi polimerizarea acestora în substanțe organice complexe (glucide, lipide, proteine, acizi nucleici, pigmenți).

Ciclul de transformări biochimice, care începe din momentul acceptării CO_2 pe un substrat organic şi sfârşeşte prin regenerarea acestui compus pentru o nouă fixare de CO_2, se face pe mai multe căi sau cicluri (C_3, C_4 şi CAM). Prin

urmare, căile de asimilare fotosintetică a carbonului nu sunt aceleaşi pentru toate plantele, ele demonstrând o mare inventivitate prin adaptările lor la concentrațiile scăzute de CO_2, ridicate de O_2, stresul hidric şi temperaturile din mediile în care trăiesc.

Strategiile fiziologice şi biochimice pentru colectarea, concentrarea şi fixarea CO_2 sunt la fel de remarcabile ca şi strategiile plantelor pentru colectarea, fixarea şi transformarea energiei luminoase.

În procesul de fixare a CO_2,două enzime joacă un rol important şi anume PEP-carboxilaza şi RuDP-carboxilaza, însă predominanța activi-tății uneia sau a celeilalte diferă de la un tip la altul (JOLIVET, 1976). Astfel, la plantele C_3 predomină activitatea RuDP-carboxilazei, care catalizează fixarea de lumină a 95-99% din CO_2 atmosferic, în timp ce PEP-carboxilaza activează fixarea la întuneric a 1-5% din această substanță (BLACK, 1973). Şi într-un caz şi în celălalt, fixarea CO_2 se face în acelaşi loc.

La plantele C_4 şi CAM devine, în schimb, preponderent rolul PEP-carboxilazei, iar la tipul C_4 mai intervin şi heterogenitatea țesuturilor (mezofil şi fascicul perivascular), precum şi dimorfismul cloroplastelor, fapt care explică de ce fixarea CO_2 se face în două zone foliare diferite.

La plantele de tip CAM, deşi tot PEP-carboxilaza are un rol dominant ca şi la tipul C_4, totuşi fixarea CO_2 se face aici într-un singur loc, ca la tipul C_3, însă la întuneric şi nu la lumină.

O serie de studii efectuate de WALKER (1974), au precizat că la plantele CAM, noaptea are loc degradarea amidonului acumulat în celulele frunzelor printr-un proces asemănător cu calea pentozelor, rezultând ribuloza difosfat, din care, sub acțiunea RuDP-carboxilazei, rezultă 2 APG ca în prima etapă a ciclului Calvin (C_3); de aici însă, reacțiile devin diferite, întrucât APG, în loc să devină precursorul triozelor, devine precursorul PEP. Acesta rezultat astfel din degradarea amidonului formează acceptorul de CO_2 atmosferic, care conduce la formarea acidului oxalacetic (CONSTANTINESCU şi HAȚIEGANU, 1983).

4.4.1. Ciclul C_3 (Ciclul Calvin)

Numele cel mai strâns legat de cercetările referitoare la drumul carbonului în fotosinteză este cel al profesorului M.CALVIN. Lui şi colaboratorilor săi, BASSHAM şi BENSON, le revine meritul de a fi precizat reacțiile care au loc în faza de întuneric a fotosintezei.

În acest scop, ei s-au servit de culturi de alge verzi monocelulare (*Chlorella* sp.) şi de suspensii de cloroplaste izolate din frunze întregi de plante superioare (soia, tutun, floarea-soarelui), care au fost expuse un timp variabil (de la o fracţiune de secundă până la 5 secunde şi chiar câteva minute) acţiunii CO_2. Primul rezultat a fost obţinerea, la scurt timp după expunerea la lumină, a mai multor substraturi cu molecule formate din 3 atomi de carbon şi respectiv din 5, 6 şi 7 atomi de carbon. Întrucât primul produs al fotosintezei a fost un compus alcătuit din 3 atomi de carbon (acidul fosfogliceric), acest ciclu s-a numit C_3 sau ciclul Calvin.

Ciclul Calvin reprezintă din punct de vedere cantitativ, calea cea mai importantă de fixare a CO_2 în fotosinteză şi el este alcătuit din 3 faze distincte: faza de carboxilare, faza reductivă şi faza de regenerare a acceptorului de CO_2 (fig.4.7):

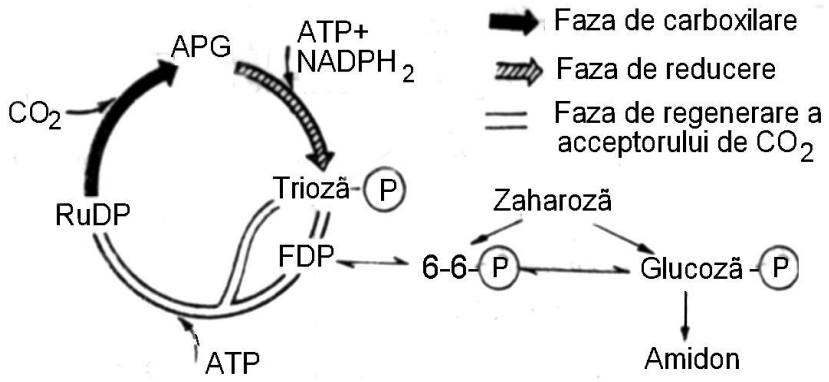


Fig. 4.7. Mecanismul fixării CO_2 de către plantele C_3

- faza de carboxilare deschide ciclul Calvin; începe cu fixarea CO_2 atmosferic de către ribuloză difosfat (RuDP) cu rol de acceptor şi sfârşeşte cu biosinteza a două molecule de acid fosfogliceric (APG);
- faza reductivă cuprinde toate reacţiile care conduc la reducerea grupării carboxilice a APG, cu participarea NADPH, ATP şi a unei enzime specifice; produsul final al acestei faze este o trioză (aldehida fosfoglicerică);
- regenerarea acceptorului de CO_2, care încheie ciclul, este mai complexă, iar o parte din produşii intermediari rezultaţi părăsesc ciclul, servind ca precursori în biosinteza glucozei, amidonului, celulozei, acizilor nucleici şi altor substanţe. În această fază, produsul final, adică acceptorul, rezultă şi datorită aportului ATP-ului.

Acest ciclu de transformări biochimice, care începe din momentul acceptării CO_2 pe un substrat organic (RuDP) şi sfârşeşte prin regenerarea acestui compus pentru o nouă fixare a CO_2, are durata de aproximativ 5 secunde.

Caracterele generale ale plantelor de tip C_3

Criteriul taxonomic. Din punct de vedere cantitativ, ciclul C_3 reprezintă cea mai importantă cale de fixare a CO_2 în fotosinteză. Prin urmare, el este valabil pentru numeroase grupe de organisme fotosintetizante (bacterii, alge, licheni, muşchi), fiind caracteristic şi plantelor superioare (grâu, orz, orez, leguminoase, tutun, sfeclă de zahăr).

Arhitectura frunzei. Puține caractere externe diferențiază la prima vedere plantele de tip C_3 față de cele de tip C_4. Anatomic însă s-a constatat că diferențele sunt corelate cu structura internă a frunzei.

Comparativ cu plantele de tip C_4 la care țesutul foliar are o structură complexă, la plantele de tip C_3 nu apare nici o diferențiere foliară, ele asemănându-se din acest punct de vedere cu plantele de tip CAM (fig.4.8, HOPSON şi WESSELLS, 1990).

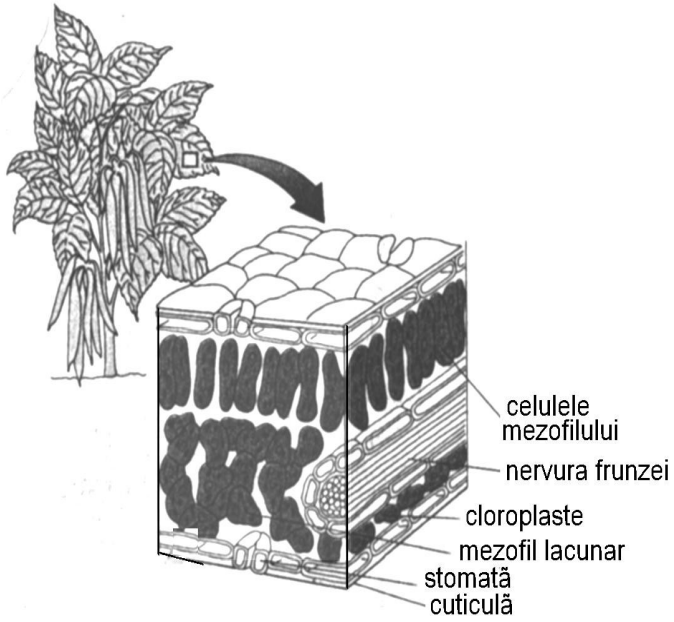


Fig. 4.8. Structura foliară la plantele de tip C_3

Aspecte citologice. La plantele C_3, cloroplastele prezente în țesu-turile asimilatoare prezintă o ultrastructură tipică, cu grane bine diferențiate şi care numără puține granule de amidon.

Aspecte biochimice. Comparativ cu calea fotosintetică de tip C_4, care se caracterizează printr-un nivel ridicat al concentrației CO_2, la plantele de tip C_3,

concentrația CO_2 la nivelul RuDP-carboxilaza este în echilibru direct cu atmosfera externă. Speciile de tip C_3 consumă mai puțin CO_2, decât cele de tip C_4.

Din punct de vedere biochimic, eficiența mai scăzută a speciilor de tip C_3 de a fixa CO_2 atmosferic, se leagă de afinitatea mai scăzută a RuDP-carboxilazei față de CO_2.

Aspecte fiziologice. La plantele de tip C_3, fotorespirația este prezentă, ea reprezentând 20-50% din fotosinteza reală. Fotorespirația este de 3-5 ori mai mare decât respirația la întuneric (respirația mitocondrială).

O plantă de tip C_3 (grâu, floarea-soarelui, spanac) expusă la lumină într-un sistem închis, va absorbi CO_2 până când concentrația acestuia de la nivelul normal (0,03%) va scădea până la aproximativ 1/6 din concentrația inițială. La concentrații mai scăzute, planta de tip C_3 nu va mai absorbi CO_2 la lumină, între absorbția şi eliminarea CO_2 de către plantă stabilindu-se un echilibru dinamic. Este cunoscut faptul că la aceste plante, fotorespirația este legată de geneza glicolatului, rezultat în parte, din proprie-tățile de oxigenază a RuDP-carboxilazei. Prin urmare, oxidarea glicola-tului sau a glicinei din care derivă, va conduce la o importantă pierdere a CO_2 inițial fixat.

Concentrația oxigenului din atmosferă afectează intensitatea fixării CO_2 la speciile de tip C_3, la care concentrația O_2 de 21% din natură reduce fotosinteza aparentă cu aproximativ 40% (SĂLĂGEANU, ATANASIU, 1981).

Transportul asimilatelor din frunze decurge cu o viteză mai mică decât la plantele de tip C_4. Viteza mai redusă a transportului se datorează menținerii unui timp mai îndelungat a glucidelor în cloroplaste, fapt care ar explica încetinirea intensității fotosintezei la plantele de tip C_3 comparativ cu cele de tip C_4.

Dispoziția dorsoventrală a frunzelor de tip C_3 implică o transpirație mai intensă; plantele de tip C_3 consumă o cantitate de apă mai mare pentru a produce aceeaşi cantitate de substanță uscată, față de plantele de tip C_4.

Diferența între plantele de tip C_3 şi C_4 poate fi exemplificată cel mai bine prin cantitatea de substanță solidă sintetizată. Astfel, o plantă de nap (C_3) produce aproximativ 6 g/m^2/zi, în timp ce trestia de zahăr (C_4) produce între 32 şi 37 g, deci de 5-6 ori mai mult .

Intensitatea fotosintezei la plantele de tip C_3 este de 15-35 mg CO_2/dm^2 frunză/oră.

Criteriul ecologic. Speciile de tip C_3 formează cvasitotalitatea plan-telor cultivate din regiunile temperate.

4.4.2. Ciclul C_4 (Ciclul lui Hatch şi Slack)

În anul 1970, în urma analizei frunzelor de porumb şi trestie de zahăr dezvoltate în condiţii normale de luminozitate şi într-o atmosferă de CO_2, fiziologii australieni HATCH şi SLACK au semnalat faptul că procesul de fixare a CO_2 şi calea urmată de substanţe în timpul fotosintezei, se abat de la mecanismele biochimice stabilite de Calvin.

Cei doi fiziologi constată în experienţele lor faptul că primul produs organic stabil care ia naştere în frunze nu mai este acidul fosfoliceric (APG), ca în cazul ciclului lui Calvin, ci trei acizi dicarboxilici, fiecare conţinând în molecula sa patru atomi ce carbon (acidul oxalacetic, acidul malic şi acidul aspartic).

Prin extinderea cercetărilor lor şi la alte specii de plante, s-a stabilit că acest proces fotosintetic caracterizează gramineele de origine tropicală şi subtropicală, ca şi plantele care trăiesc în zonele deşertice şi semideşertice (*Chenopodiaceae*), denumite convenţional plante de tip C_4, întrucât primii produşi stabili formaţi după cuplarea CO_2 sunt produşi alcătuiţi din 4 atomi de carbon.

Cercetările axate pe elucidarea mecanismelor biochimice care duc la sinteza produşilor alcătuiţi din 4 atomi de carbon, au permis lui HATCH şi SLACK să precizeze că în procesul de asmilaţie clorofiliană a plantelor C_4 sunt implicate două categorii de celule fotosintetice existente în frunzele lor; aceste celule diferă între ele prin organizarea lor structurală şi biochimică (celulele mezofilului şi celulele tecii perivasculare).

Ansamblul reacţiilor complexe care au loc în plantele C_4 sunt redate schematic (fig.4.9, CONSTANTINESCU şi HAŢIEGANU, 1983).

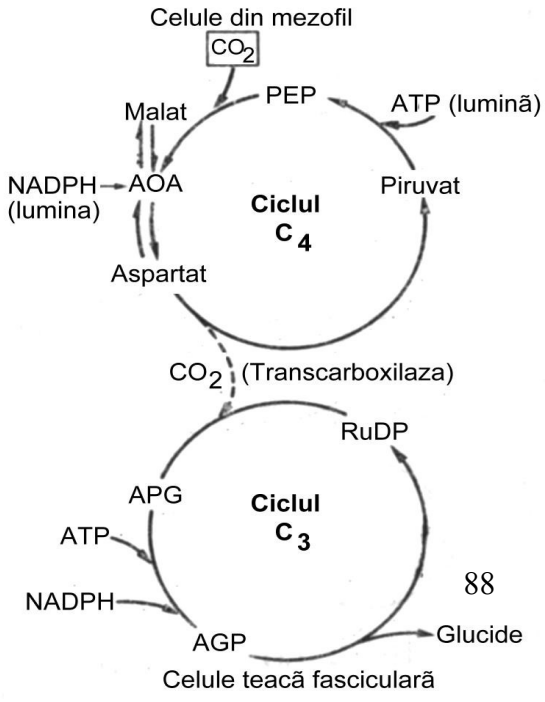


Fig. 4.9.
Schema fixării fotosintetice a CO_2 la plantele de tip C_4

Datorită prezenței acidului fosfoenolpiruvic (PEP) şi PEP-carbo-xilazei din citoplasma celulelor mezofilului, are loc la lumină, în urma unui proces de carboxilare, o fixare primară a CO_2 atmosferic de către PEP, reacție activată de PEP-carboxilaza, cu formarea acidului oxalacetic.

Acidul oxalacetic migrează în cloroplast, unde este convertit în acid malic şi aspartic. Aceştia odată formați migrează prin plasmodesme în celulele tecii asimilatoare şi pătrund în cloroplastele acestui țesut. Aici, acidul aspartic este convertit în acid malic, iar întreaga cantitate de acid malic este convertită, tot în aceste cloroplaste, în acid piruvic, cu punerea în libertate a CO_2.

CO_2 eliberat se integrează de aici înainte în şirul de reacții caracte-ristice ciclului Calvin, începând cu formarea APG (acid fosfogliceric) şi sfârşind cu biosinteza glucidelor, care se desfăşoară însă numai în cloroplastele din celulele tecii perivasculare.

În ceea ce priveşte soarta acidului piruvic rezultat din convertirea acidului malic, se constată că în realitate el constituie o regenerare a acidului piruvic, precursor al PEP. Odată regenerat, acidul piruvic migrează din celulele perivasculare în celulele mezofilului, unde sub acțiunea unei enzime (piruvat fosfokinaza) şi în prezența ATP şi Pa este convertit în acid fosfoenolpiruvic (PEP), intrând astfel într-un nou ciclu C_4.

Caracterele generale ale plantelor de tip C_4

Criteriul taxonomic. Plantele de tip C_4 se găsesc atât printre mono-cotiledonate cât şi printre dicotiledonate. Astfel, 18 familii de angiosperme şi 196 de genuri conțin 943 de specii care aparțin tipului C_4.

Familiile care au plante de tip C_4 sunt: *Amaranthaceae*, *Acantha-ceae*, *Asteraceae*, *Chenopodiaceae*, *Euphorbiaceae* etc. (dicotiledonate); *Cyperaceae*, *Liliaceae* şi *Poaceae* (monocotiledonate). Aceste familii au şi plante care aparțin tipului C_3; chiar în cadrul aceluiaşi gen, pot exista specii de tip C_4 alături de cele de tip C_3.

Diversitatea plantelor de tip C_4 în lumea vegetală este uimitoare. Asistăm la situația în care familii atât de îndepărtate din punct de vedere taxonomic, gramineele şi chenopodiaceele, să cuprindă specii care aparțin tipului C_4.

Arhitectura frunzei. Plantele de tip C_4 se caracterizează printr-un țesut foliar eterogen. **Structura foliară de tip Kranz** specifică lor, presu-pune că fiecare fascicul vascular din limb este înconjurat de o teacă de celule perivasculare mari, acestea fiind acoperite la exterior de un inel de celule mezofiliene. Prin urmare, la plantele de tip C_4 apar două tipuri de celule asimilatoare. Examenele efectuate la microscopul electronic au arătat că există numeroase plasmodesme care asigură comunicarea dintre citoplasmele celor două tipuri de celule asimilatoare (fig.4.10).

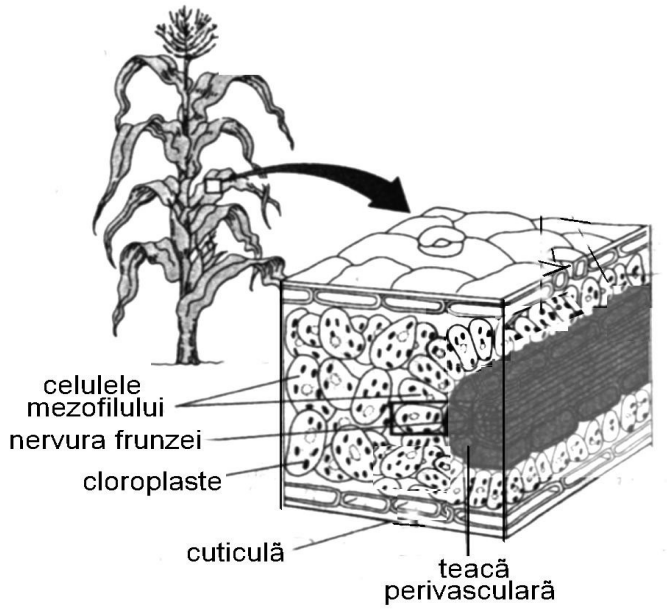


Fig. 4.10.
Structura foliară la plantele de tip C_4

La început, s-a crezut că este suficient în a privi o secțiune transversală printr-o frunză pentru a spune dacă specia respectivă aparține tipului C_3 sau C_4. Ulterior, s-au constatat la plantele de tip C_4 atât structuri foliare de tip Kranz, cât şi non-Kranz şi chiar intermediare.

Aspecte citologice. La plantele de tip C_4, dar nu în toate cazurile, mitocondriile, cloroplastele şi peroxizomii din celulele tecii asimilatoare sunt considerabil mai mari decât cele din celulele mezofilului.

Cloroplastele din celulele mezofilului prezintă o ultrastructură tipică cu grane bine diferențiate şi cu puține granule de amidon; situația se regăseşte şi în cazul frunzelor de tip C_3. În celulele tecii asimilatoare, cloroplastele bogate în amidon pot să conțină grane bine diferențiate sau pot să fie complet lipsite de grane (trestia de zahăr şi porumb).

Acest dimorfism cloroplastic, deşi frecvent, nu este prezent la toate speciile de tip C_4. Astfel, la dicotiledonatele de tip C_4 nu apare un dimorfism al cloroplastelor, în schimb, la monocotiledonatele de tip C_4 acest dimorfism pare a fi, în general, prezent.

Aspecte biochimice. Din punct de vedere biochimic, eficiența mai ridicată a speciilor de tip C_4 de a fixa CO_2 atmosferic, în comparație cu speciile de tip C_3, este explicabilă datorită afinității mai ridicate a PEP-carboxilazei față de CO_2 decât a sistemului RuDP-carboxilazei. În plus, chiar PEP-carboxilaza din plantele de tip C_4 are o viteză de carboxilare de 15 ori mai mare decât acelaşi sistem din plantele de tip C_3 (SĂLĂGEANU, 1981).

La plantele de tip C_4, cele două reacții de carboxilare sunt separate spațial. Astfel, prima care utilizează CO_2 atmosferic este catalizată de PEP-carboxilază în mezofil, iar a doua, care utilizează CO_2 generat intern, este catalizată de RuDP-carboxilază în teaca asimilatoare perivasculară.

Reacția PEP-carboxilazei în celulele asimilatoare mezofiliene funcționează asemeni unei capcane foarte eficiente pentru fixarea CO_2 din atmosferă. Astfel, în teaca perivasculară va creşte concentrația CO_2 în apropierea sistemului RuDP-carboxilaza. Acest nivel ridicat al concentrației CO_2 este în contrast cu situația întâlnită la speciile de tip C_3, unde concentrația CO_2 la nivelul RuDP-carboxilaza este în echilibru direct cu atmosfera externă.

Aspecte fiziologice. La plantele de tip C_4 nu se observă procesul de fotorespirație întrucât CO_2 eliberat nu poate părăsi țesuturile, din cauza reținerii lui în citoplasma celulelor mezofilului care înconjoară tecile perivasculare.

Lumina de saturație la speciile de tip C_4 nu este atinsă nici în lumina solară totală iar față de creşterea concentrației CO_2 în atmosferă, aceste plante reacționează relativ slab. Asemănător, concentrația O_2 din atmosferă nu afectează intensitatea fixării CO_2 la speciile de tip C_4.

Viteza transportului asimilatelor din frunze este mai mare la speciile de tip C_4. Se evaluează că transportul asimilatelor din frunze este de trei ori mai rapid la o plantă de tip C_4 decât la o plantă de tip C_3.

Structura foliară de tip Kranz a plantelor de tip C_4 favorizează o reducere a transpirației, comparativ cu dispoziția dorsoventrală a frunzelor de tip C_3. Coeficientul transpirației fiind mai redus, aceasta presupune că plantele de tip C_4 consumă de 2-3 ori mai puțină apă, pentru a produce aceeaşi cantitate de substanță uscată.

Toate aceste însuşiri fiziologice conferă plantelor de tip C_4 o eficienţă mai ridicată a fotosintezei, de 2-3 ori mai mare decât a majorităţii plantelor, raportată la suprafaţa foliară (40-80 mg CO_2/dm^2 frunză/oră).

Criteriul ecologic. Speciile de tip C_4 populează, în general, regiunile subtropicale sau tropicale, fie calde şi umede, fie semideşertice şi aride. Numeroase specii de tip C_4 sunt halofite şi xerofite.

Producţiile mai mari ale speciilor de tip C_4 se explică numai prin aceea că ele şi-au ales un climat care le-a permis să crească un timp mai îndelungat (GIFFORD, 1971).

4.4.3. Ciclul CAM (Metabolismul Acidului Crassulacean)

Cercetările relativ recente (1974) au semnalat faptul că, în cazul asimilaţiei clorofiliene a plantelor din familia *Crassulaceae* există abateri de la fixarea fotosintetică a CO_2 caracteristică ciclului Calvin şi mecanismelor biochimice ale ciclului Hatch-Slack. Datorită acestor abateri speciile de *Crassulaceae* au fost denumite convenţional plante CAM (după iniţialele cuvintelor Crassulacean Acid Metabolism).

La aceste plante, fixarea CO_2 atmosferic se face noaptea, moment urmat de o puternică acidifiere a sucului vacuolar, datorită formării acizilor organici, în principal a acidului malic.

Acizii organici formaţi reprezintă o importantă sursă de carbon. Se observă, totodată, că absorbţia CO_2 la întuneric şi producerea acidului malic, este însoţită şi de un consum de amidon. Întrucât acizii organici formaţi se pot metaboliza numai în prezenţa luminii, în dimineaţa următoare vor ieşi din vacuole şi vor trece în cloroplaste, unde vor suferi un proces de decarboxilare ca şi la plantele de tip C_4. Pe măsură ce vacuola se goleşte, valoarea pH-ului creşte din nou.

Urmărind traseul acidului malic format noaptea, acesta în ziua următoare este convertit în acid piruvic (care intră în ciclul Krebs), cu eliberarea CO_2 fixat în timpul nopţii, care intră imediat în ciclul Calvin, conducând în final la biosinteza glucidelor, la fel ca în ciclul C_4 (fig.4.11).

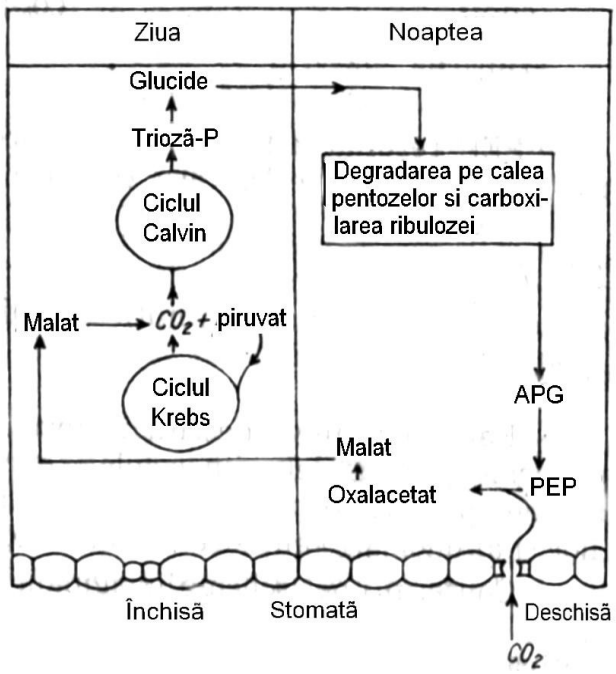


Fig. 4.11. Mecanismele fixării CO_2 de către plantele CAM

La baza mecanismelor fixării CO_2 de către plantele CAM stă faptul că acestea sunt plante xeromorfe, care au stomatele frunzelor închise ziua şi deschise noaptea, când are loc şi degradarea amidonului pe care îl conţin, cu formarea PEP. La aceste plante, vacuolele mari ale mezofilului nu servesc numai la acumularea apei, ci sunt şi rezerve importante de carbon care permit acestor plante o independenţă temporală a schimbului de CO_2 într-un moment când stomatele lor sunt deschise (noaptea).

Caracterele generale ale plantelor de tip CAM

Criteriul taxonomic. Plantele de tip CAM se regăsesc în multe familii: *Agavaceae*, *Compositae*, *Cactaceae*, *Crassulaceae*, *Orhidaceae*, *Liliaceae*, *Euphorbiaceae*, *Bromeliaceae* etc. Unele dintre acestea (*Compositae*, *Liliaceae* şi *Euphorbiaceae*) au şi plante de tip C_3.

Arhitectura frunzei. Analizând o frunză de *Crassula* sp., se observă că în mezofilul ei nu apare nici o diferenţiere, structura acesteia fiind omogenă. În general, structura internă a unei frunze de la *Crassulaceae* este mult mai apropiată de aceea a plantelor de tip C_3. În frunzele acestor plante nu există teacă asimilatoare perivasculară (fig.4.12).

Aspecte citologice. La plantele de tip CAM nu s-a constatat dimorfism celular sau cloroplastic. Numărul cloroplastelor este mai mare în celulele periferice ale frunzei acestor plante, comparativ cu cele din centrul frunzei. În plus, în apropierea fasciculelor conducătoare s-au găsit la aceste plante, celule care conțin amidon.

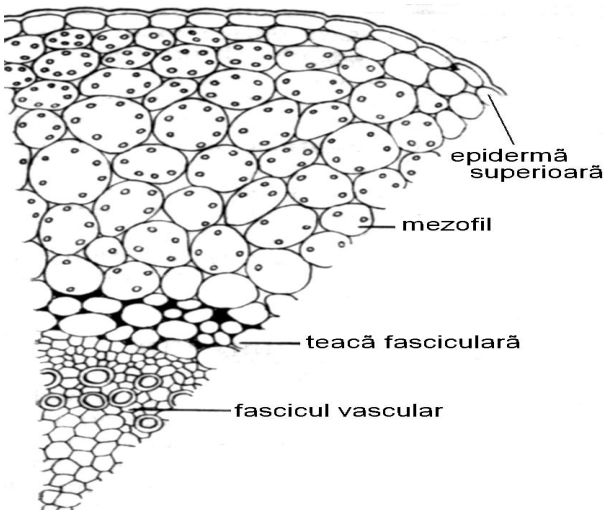


Fig. 4.12. Secțiune transversală prin frunza de la *Crassula* sp.

Aspecte biochimice. Reacțiile biochimice la aceste plante sunt separate temporal (ziua şi noaptea) şi se desfăşoară în aceleaşi celule, comparativ cu situația plantelor de tip C_4 la care reacțiile sunt separate spațial, ele având loc şi în cadrul unor celule diferite.

Metabolismul acid al crassulaceelor este influențat într-o anumită măsură, de vârsta frunzelor, de fotoperioadă şi de prezența NaCl în mediu, aspect constatat şi la plantele de tip C_4. Astfel, *Mesembryanthemum crystallinum* prezintă în absența NaCl un comportament de tip C_3, iar în prezența NaCl un comportament de tip CAM.

Aspecte fiziologice. Intensitatea transpirației la plantele de tip CAM este de două ori mai slabă decât la plantele de tip C_4 şi de patru ori mai redusă decât la cele de tip C_3.

Textura cărnoasă a frunzelor favorizează reținerea apei în țesuturi şi reduce viteza schimburilor gazoase. Despărțirea în timp între perioada nocturnă, favorabilă absorbției intense a CO_2 şi aceea din timpul zilei, când are loc formarea puterii reducătoare a CO_2, contribuie la reducerea randamentului fotosintetic, ceea ce permite acestor plante să supravie-țuiască în condițiile secetei din mediul în care trăiesc.

Randamentul fotosintetic la plantele de tip CAM este cel mai mic, comparativ cu cel al plantelor de tip C_3 şi C_4 (5-7 mg CO_2/dm^2/oră).

La plantele de tip CAM, apa se constituie într-un factor important care influențează formarea CO_2 la întuneric. La *Opuntia*, după ploaie, când filocladiile au un potențial hidric ridicat, fixarea nocturnă a CO_2 este mult intensificată. În perioadele de secetă, scăderea potențialului hidric se corelează la această plantă cu scăderea conținutului în acizi.

În ceea ce priveşte fotorespirația, aceasta este prezentă la plantele de tip CAM dar este foarte greu de pus în evidență.

Criteriul ecologic. Plantele de tip CAM cresc în medii aride având stomatele deschise noaptea şi închise ziua. Închiderea stomatelor ziua reduce pierderea apei ceea ce reprezintă un avantaj pentru plantele care cresc într-un mediu uscat, dar acest aspect creează un impediment în apro-vizionarea cu CO_2 pentru fotosinteză.

Prin urmare, plantele care cresc în regiunile calde şi deşerturi, sunt adaptate acestor condiții cu regim hidric sever şi cu temperatură externă foarte ridicată. Într-un asemenea context, schimburile gazoase ale plantei sunt foarte reduse iar particularitatea esențială a lor se leagă de rezistența la secetă, prin capacitatea de a reține apa în celule (prin închiderea stomatelor ziua şi deschiderea lor noaptea).

4.5. FACTORII CARE INFLUENȚEAZĂ FOTOSINTEZA

Factorii externi

Dintre factorii externi care influențează intensitatea fotosintezei şi economia carbonului în plante, un rol important îl joacă lumina, temperatura, concentrația de CO_2 şi de O_2, apa, prezența sărurilor minerale şi a substanțelor toxice etc.

Lumina influențează demersul fotosintezei din punct de vedere a intensității şi calității ei. La plantele heliofile cultivate în zona temperată (floarea-soarelui, grâu, vița de vie etc.) s-a stabilit faptul că există o relație de proporționalitate directă între intensitatea luminii până la 50.000 lucşi şi intensitatea proceselor fotosintetice. La o intensitate luminoasă mai mare de 100.000 lucşi, asistăm la inhibarea fotosintezei, drept urmare a vătămării cloroplas-telor, pigmenților şi enzimelor.

La plantele ombrofile (din păduri, din apartamente), atingerea plafonului fotosintezei maxime are loc la 10.000-12.000 lucşi. Diferența de reacție față de

intensitatea de lumină între plantele heliofile şi ombrofile este explicabilă pornind de la diferențele anatomo-morfologice ale frunzelor lor. Astfel, dacă plantele heliofile au frunze groase, cu multe stomate, țesut palisadic prevăzut cu 2-3 straturi de celule, cloroplaste mici cu cantitate de clorofilă mai redusă, conformația frunzelor plantelor ombrofite se prezintă altfel. La acestea, celulele palisadice sunt mai scurte şi dispuse pe un singur strat, ceea ce face ca iluminarea cloroplastelor să se poată realiza la o intensitate mai redusă a luminii incidente.

Valoarea intensității luminii la care cantitatea de CO_2 asimilat este egală cu cantitatea eliminată prin respirație reprezintă punctul de compensație a luminii (PC). Când PC = 0, planta nici nu câştigă, nici nu pierde în greutate; PC > 0, înseamnă un câştig de substanță, iar când PC < 0, se traduce prin pierderi de substanță.

Coeficientul de lumină disponibilă (L) trebuie să fie mereu mai mare decât PC, deoarece în permanență trebuie să fie compensate pierderile prin respirația din timpul nopții şi din respirația organelor neasimilatoare.

Aprecierea valorilor punctului de compensație a luminii (PC), la diferite specii de plante, a dus la constatarea că la plantele heliofile, PC se situează la o intensitate a luminii cuprinsă între 700-1000 lucşi, iar la plantele ombrofile între 100-300 lucşi, la acestea din urmă intensitatea respirației fiind mai redusă (ATANASIU, 1984).

Mărimea, forma şi poziția frunzelor influențează, de asemenea, accesul luminii într-un fotosistem. Astfel, într-o plantație de orez formată din plante cu frunze dispuse orizontal, care primesc lumina perpendicular pe suprafața lor şi din plante cu frunze în poziție erectă, care permit razelor solare să străbată în cantitate mai mare părțile inferioare, fotosinteza se desfăşoară cu o eficiență mai ridicată la plantele cu frunze erectofile.

Calitatea luminii influențează şi ea demersul fotosintezei. Este cunoscut faptul că dintre radiațiile spectrului vizibil, plantele absorb doar acele radiații care le sunt utile procesului fotosintetic. Acestea sunt radiațiile roşii (ROG) şi cele albastre (AIV). Prin absorbția radiațiilor ROG, plantele sintetizează mai multe glucide, iar prin absorbția radiațiilor AIV se intensifică în plante sinteza substanțelor proteice. Cunoscând această particularitate, putem interveni mai ales în cazul plantelor cultivate în lumină artificială, îmbogățind lumina cu radiații roşii sau albastre, modificând astfel, în funcție de interesele agricole, conținutul în glucide sau proteine a plantelor.

Temperatura. Valorile termice care influențează fotosinteza sunt diferite, în funcție de plantele luate în discuție. La majoritatea plantelor, fotosinteza începe în jurul valorii de 0°C, exceptând plantele din zonele reci şi speciile care iernează în stare vegetativă, la care fotosinteza poate avea loc şi la temperaturi negative (-4°C la grâu; -7°C la molid, brad etc.).

Temperaturile optime, cu unele variații în funcție de specie, se încadrează între 20-37°C. Când acest plafon termic se depăşeşte, fotosinteza scade până la întreruperea sa definitivă, datorită vătămării protoplasmei, inactivării enzimelor şi cloroplastelor.

Concentrația de CO_2 şi de O_2. Prin mărirea concentrației de CO_2, peste valorile medii existente în atmosferă (0,03%) are loc o intensificare progresivă a fotosintezei. La doze exagerate (3-10%), CO_2 devine toxic pentru protoplasmă, pentru activitatea enzimelor şi cloroplastelor. Există însă şi specii (vița de vie) care conțin cantități mari de acizi organici şi care sunt mai puțin sensibile la doze mari de CO_2, suportând concentrații care depăşesc uneori 10%.

Dacă în lunile aprilie şi octombrie, din cauza respirației microorganismelor din sol, se constată o îmbogățire cu CO_2 a atmosferei din mediul natural, în schimb, în lunile de vară este necesară mărirea artificială a dozei de CO_2, mai ales în orele de după prânz când procentul de CO_2 din aer este redus.

În ceea ce priveşte O_2 din atmosferă, procesele fotosintetice se derulează la parametrii optimi când concentrația acestuia se încadrează între 2-20%. La concentrații ce depăşesc 50%, intensitatea fotosintezei este mult diminuată.

Apa. Acest factor influențează derularea fotosintezei prin multiplele sale roluri. Astfel, apa asigură turgescența celulelor asimilatoare şi intervine prin cedarea O_2 (fotoliza apei) şi a H_2 utilizat în reducerea CO_2.

În general, fotosinteza maximă are loc atunci când țesuturile frunzelor au o saturare cu apă de 87-92%. Dacă excesul de apă presupune inundarea spațiilor intercelulare şi blocarea proceselor metabolice în plantă, deficitul de apă influențează şi el desfăşurarea fotosintezei, dar din alte puncte de vedere.

Relația dintre intensitatea fotosintezei şi gradul de aprovizionare cu apă depinde şi de particularitățile biologice ale speciilor. Astfel, la un deficit mai accentuat de apă din frunze, xerofitele continuă asimilarea CO_2, în timp ce alte plante (hidrofite şi mezofite) reuşesc mai puțin să facă acest lucru.

Prezența sărurilor minerale şi a substanțelor toxice. Dacă prezența sărurilor minerale în plante, în cantități corespunzătoare, este benefică desfăşurării

fotosintezei, în schimb, prezența unor substanțe toxice, provenite din prăfuirile cu pesticide sau din poluarea atmosferei, înseamnă efecte nocive la nivelul celulelor, țesuturilor, a organismului vegetal luat ca întreg. Între specii există o variație de rezistență a aparatului asimilator la poluarea atmosferei. Salcâmul, fiind cel mai rezistent, se recomandă a se planta în jurul surselor de noxe.

Dintre macroelemente, fosforul şi potasiul manifestă o influență promptă, directă, asupra fotosintezei. Influența directă a fosforului se explică prin participarea lui la formarea ATP şi la fosforilările substanțelor intermediare. Potasiul, deşi nu participă ca element constituțional la formarea substanțelor organice şi nici nu intră în molecula unor enzime, datorită rolului său manifestat în generarea turgescenței stomatelor, este implicat în schimbul de gaze care are loc în frunze.

Azotul şi sulful au o influență întârziată asupra fotosintezei, ceea ce reprezintă dovada participării lor indirecte în proces, iar microelementele (Fe, Cu, Zn, Mn) exercită o influență favorabilă asupra intensității fotosintezei.

Diferitele influențe exercitate, atât în carență cât şi în exces, de către elementele minerale asupra fotosintezei sunt dependente de nivelul cantitativ atins, durata expunerii, vârsta frunzelor şi toxicitatea proprie a elementelor minerale implicate.

Factorii interni

Intensitatea fotosintezei se corelează cu acțiunea unor factori interni, dintre care cei mai importanți sunt: specia, structura şi vârsta frunzei, cantitatea de clorofilă, acumularea asimilatelor în frunze etc.

Specia. Intensitatea fotosintetică este mai mare la plantele erbacee (5-10 mg CO_2/dm^2 frunză/oră), comparativ cu plantele lemnoase la care aprovizionarea frunzelor cu substanțe minerale este mai deficitară şi plantele suculente, la care spațiile intercelulare sunt reduse astfel încât şi difuziunea CO_2 este foarte lentă.

Structura şi vârsta frunzei. Există o serie de caractere anatomo-morfologice ale frunzelor care facilitează sau îngreunează pătrunderea CO_2 în frunze şi derularea fotosintezei. Dintre acestea, mai importante sunt: grosimea limbului foliar, numărul straturilor de celule palisadice, gradul de deschidere şi densitatea stomatelor, numărul şi viabilitatea cloroplastelor.

În ceea ce priveşte vârsta frunzelor, la acestea există o regulă generală privind influența exercitată în desfăşurarea fotosintezei, valabilă pentru toate speciile de plante. Astfel, se apreciază faptul că la frunzele foarte tinere există o activitate fotosintetică mai scăzută, datorită suprafeței lor foliare reduse, numărului mic de cloroplaste etc. La frunzele mature, în schimb, intensitatea fotosintetică este maximă datorită suprafeței mai mari de contact pe care o au cu atmosfera, cloroplastelor mari şi eficienței clorofilei. Fotosinteza scade în intensitate sau încetează la nivelul frunzelor îmbătrânite şi acest aspect este legat de diminuarea activității enzimatice, distrugerii cloroplastelor şi clorofilei, modificării proprietăților fizice ale protoplasmei vii etc.

Cantitatea de clorofilă. Între intensitatea fotosintezei şi conținutul de clorofilă din țesutul asimilator al frunzelor nu există o proporționalitate directă şi permanentă, întrucât există o serie de factori de influență care intervin în raporturile stabilite între ele (vârsta frunzei, intensitatea luminii, calitatea cloroplastelor etc.).

S-a constatat faptul că plantele cu frunze verde-închis asimilează mai intens în condițiile unei nebulozități mai mari iar cele cu frunze verde-deschis, asimilează mai activ în lumina solară directă. Prin urmare, primele sunt recomandate pentru regiunile cu nebulozitate mare şi ultimele pentru regiunile bine însorite.

Studiile întreprinse la plantele heliofile şi cele ombrofile, au certificat faptul că diferă cantitatea de clorofilă la cele două grupe de plante. Frunzele plantelor heliofile au un conținut mai redus de clorofilă, iar intensitatea activității fotosintetice creşte paralel cu intensitatea luminii până la valoarea maximă din zi (75.000-100.000 lucşi).

Acumularea asimilatelor în frunze. Există situații când transportul asimilatelor din frunze spre celelalte compartimente ale plantei este redus, ceea ce îngreunează derularea fotosintezei. În frunze se acumulează cantități mari de glucide solubile, osmotic active, iar celulele asimilatoare devin centre osmotice spre care se îndreaptă sucul vacuolar al celulelor vecine, ceea ce va bloca evacuarea substanțelor sintetizate.

Test de autocontrol

1. Mecanismul fotosintezei presupune:
    a. un lanț succesiv de reacții foto şi biochimice
    b. absorbția O_2 şi eliminarea CO_2 din plante
    c. reacții biochimice în cadrul ribozomilor
    d. reacții de culoare în citoplasmă
2. Din ce zone provin plantele la care sunt specifice reacțiile ciclului fotosintetic de tip CAM?
    a. zone tropicale şi subtropicale
    b. zone temperate
    c. zone aride şi deşerturi
    d. zone reci
3. Care este procesul fiziologic cel mai strâns legat de fotosinteză?
    a. mişcarea
    b. creşterea
    c. respirația
    d. adaptabilitatea
4. Din ce punct de vedere influențează lumina fotosinteza la plante?
    a. cantitativ
    b. calitativ
    c. cantitativ şi calitativ

C a p i t o l u l 5
RESPIRAȚIA PLANTELOR

5.1. DEFINIȚIA ŞI IMPORTANȚA RESPIRAȚIEI

Respirația este procesul fiziologic care exploatează, pe cale enzimatică, oferta de material organic (glucide, proteine, lipide) a fotosintezei, până la nivelul celor mai simple minerale care în acest mod devin accesibile consumului celular, proces însoțit de eliberarea unei anumite cantități de energie.

Ca proces exergonic, respirația are o mare importanță în evoluția individului vegetal, întrucât furnizează energia necesară creşterii şi dezvoltării, germinării, adaptabilității plantelor la o serie de factori nefavorabili, mişcării etc. Prin urmare, multe secvențe din viața plantei, ar putea fi înțelese mai uşor dacă s-ar cunoaşte mecanismul intim de desfăşurare a procesului respirator.

Dacă fotosinteza reprezintă latura anabolică, respirația se constituie în latura catabolică a procesului metabolic. Potrivit cu cerințele celulei, a plantei luate ca ansamblu, rezerva de material organic rezultată din fotosinteză, va fi descompusă în fragmente simple, prin ansamblul complex al reacțiilor de oxido-reducere, catalizate de enzime specializate în acest sens.

Suprapunem respirația intervalului de viață al individului vegetal, întrucât atâta timp cât trăieşte, planta respiră, atât ziua cât şi noaptea, respirația fiind comună tuturor celulelor vii.

Energia eliberată de respirație se înmagazinează, în cea mai mare parte, la nivelul legăturilor macroergice ale compuşilor fosfatici de tipul ATP, ca **energie chimică** fiziologic utilizabilă. O altă parte din energia eliberată în respirație se transformă în **energie mecanică**, aceasta fiind folosită în realizarea curenților citoplasmatici. Există şi alte părți ale energiei eliberate de respirație care se transformă în **energie electrică** şi în **energie calorică**; aceasta din urmă fiind

iradiată va fi pierdută sub formă de căldură. Un procent de 35% din cantitatea de energie chimică a respirației se va pierde sub formă de căldură.

Sediul de desfăşurare a procesului respirator este mitocondria. Dacă asemănăm mitocondria cu o uzină energetică, la nivel miniatural, această comparație are doar o valoare literară deoarece un sistem mecanic se deosebeşte net de un sistem viu. Prin urmare, comparația serveşte doar la formarea unei imagini sugestive asupra celulei ca sistem care efectuează travaliu şi care necesită resurse energetice.

5.2. MECANISMUL RESPIRAȚIEI

Fiind izvorul de energie al celulei, țesutului, respectiv organismului luat ca întreg, respirația rămâne unul dintre cele mai importante procese fiziologice, iar complexitatea mecanismului său biochimic îl justifică, în parte, fiecare din cele trei etape ale sale (**glicoliza**, **ciclul Krebs** şi **lanțul respirator**).

Sediul de desfăşurare a etapelor respirației este diferit, iar locali-zarea lor strictă este redată în fig.5.1.

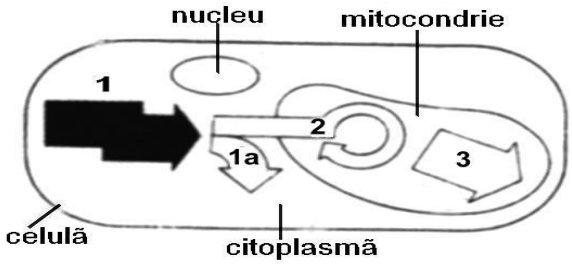


Fig. 5.1. Localizarea etapelor respirației:
1. Glicoliza; **1a**. Fermentația; **2**. Ciclul Krebs; **3**. Lanțul respirator

5.2.1. Glicoliza

Definiția şi importanța procesului:

- este o veritabilă "fosilă" biochimică şi bioenergetică reprezentând principalul mijloc de procurare a energiei în condiții de viață dispărute de mult. Acest mecanism energogen a dăinuit însă atât de mult, încât s-a fixat puternic în

metabolismul celular, supraviețuind în continuare şi în condițiile unei atmosfere mult îmbogățite în oxigen;

- rezistența în timp a glicolizei face ca ea să reprezinte un proces fundamental bioenergetic, comun tuturor tipurilor de celule, atât anaerobe cât şi aerobe, un stadiu obligatoriu a procesului de energogeneză celulară;

- faptul că sub influența schimbării calitative şi cantitative a compoziției chimice a atmosferei, nu au dispărut celulele care realizează glicoliza, dovedeşte o remarcabilă flexibilitate metabolică, aceste celule (organisme) păstrându-şi şi străvechea lor capacitate.

Organismele anaerobe plătesc un tribut greu avantajului de a degrada glucoza în lipsa oxigenului; ele consumă mult mai multă materie primă pe unitatea de timp şi de greutate, pentru a obține o producție de energie similară cu aceea a procesului aerob. Concret, celula anaerobă trebuie să consume o cantitate de glucoză de 20 de ori mai mare decât o celulă aerobă pentru a realiza aceeaşi cantitate de energie;

- este ansamblul de reacții enzimatice secvențiale în cursul cărora o moleculă de glucoză este transformată în două molecule de acid piruvic. Acidul piruvic rezultat poate suferi două tipuri de transformări, în funcție de condițiile existente, aerobe sau anaerobe.

În condiții anaerobe, acidul piruvic devine acceptorul electronilor eliberați în cursul glicolizei, îndeplinind funcția de oxidant şi se transformă prin reducere în acid lactic (fermentația lactică), alcool etilic (fermentația alcoolică), acid butiric (fermentația butirică), acid acetic (fermentația acetică) etc.

Întrucât procesul fermentativ primeşte diverse denumiri după produsul final de reducere al acceptorului de electroni, putem considera că există un singur proces de glicoliză şi mai multe procese de fermentație.

În condiții aerobe, acceptorul de electroni nu mai este acidul piruvic, ci oxigenul atmosferic. În contextul respectiv, acidul piruvic este degradat până la nivelul CO_2 şi H_2O.

Localizarea glicolizei. Spațiul de derulare a glicolizei este citoplasma celulei, la acest nivel regăsindu-se pachetele enzimatice răspunzătoare de acest proces, care sunt solubile.

Reacțiile glicolizei. Este un proces energogen fundamental, format dintr-o secvență de 11 reacții catalizate de un număr similar de enzime diferite. Această secvență se împarte în trei părți:

- prima parte începe cu glucoza şi se încheie după scindarea ei în două trioze;
- a doua parte se încheie cu formarea a două molecule de acid piruvic;
- a treia parte se referă la reducerea acidului piruvic.

Eficiența energetică a glicolizei nu este mare şi aceasta se datorează faptului că nu se extrage întreaga cantitate de energie conținută în substratul inițial (glucoza), deoarece procesul de valorificare a energiei glucozei se opreşte la stadiul de acid lactic sau alți produşi. Ulterior, aceşti produşi (acid butiric, alcool butilic, alcool propilic, alcool izopropilic etc.) de fermentare sunt eliminați din celulă ca deşeuri. Doar în condițiile unui mediu aerob, aceşti produşi pot fi supuşi, în continuare, procesului degradativ în urma căruia va fi valorificat şi restul de rezervă energetică.

În cazul glicolizei, dintr-o secvență de 11 reacții doar două pot genera ATP şi anume, tocmai cele două reacții în care se petrece o oxido-reducere şi în care se pune în joc suficientă energie spre a putea genera ATP.

Pentru o producție mare de energie însă, un mecanism în care un anume reducător reduce întotdeauna acelaşi substrat specific lui, nu este rentabil. În plus, trebuie reținut următorul aspect: energia eliberată trebuie descărcată în cantități mici, de-a lungul unui şir de reacții redox, întrucât doar aşa poate fi distribuită economic. Descărcarea întregului surplus de energie într-o singură reacție poate deveni nocivă întrucât celula nu poate recupera dintr-o dată o mare cantitate de energie.

5.2.2. Ciclul Krebs

Definiția şi importanța procesului:

- numit şi ciclul acidului citric, după numele primului produs rezultat, ciclul Krebs (CK) furnizează electroni energizați şi protoni care vor reduce oxigenul atmosferic şi vor elibera energie;

- acest proces ciclic denumit Krebs, după numele savantului englez H.KREBS care l-a descoperit, furnizează o serie de materiale de construcție pentru o gamă variată de structuri celulare;
- în metabolismul energetic, CK nu îndeplineşte direct o funcție energogenă (în secvența de reacții nu se produce ATP); el pregăteşte materialul – protoni şi electroni – care va determina sinteza de ATP în cadrul părții finale a respirației (lanțul respirator);

- funcționează asemeni unui cuptor în care se consumă compuşi metabolici şi se produce continuu ioni de H+ şi electroni. Combustibilul acestui cuptor este o moleculă simplă, alcătuită din doi atomi de carbon şi anume acidul acetic. Acesta nu intră ca atare în ciclu, ci activat sub forma unei combinații cu coenzima A (CoA), acetil-CoA. Acest statut activat îi permite să intre în CK, unde va produce substraturi reduse care furnizează ioni de H^+ şi electroni energizați.

Localizarea CK. Enzimele aferente ciclului sunt dispuse în matrixul mitocondriei şi sunt insolubile.

Reacțiile CK. Ciclul începe odată cu transferul acetilului de la acetil-CoA unui alt acceptor, respectiv acidul oxalacetic. În urma acestui transfer enzimatic, ia naştere acidul citric care este primul produs al acestui ciclu.

Ceilalți produşi care apar în ordine, după acidul citric, sunt: acidul cisaconitic, acidul izocitric, acidul cetoglutaric, acidul succinic, acidul fumaric şi acidul malic. Acesta din urmă, cedând a patra pereche de atomi de hidrogen, regenerează acidul oxalacetic care, primind un alt acetil poate reîncepe ciclul.

Eficiența energetică a CK. Urmărind secvența de reacții a CK, se observă că nu intră fosfați şi nu se produce ATP, ceea ce denotă că el nu îndeplineşte direct funcții energogene. În schimb, CK pregăteşte materialul care va determina sinteza de ATP în etapa imediat următoare a procesului respirator.

La fiecare rotație a CK se consumă o moleculă de acid acetic şi se produc 2 molecule de CO_2 şi 4 perechi de atomi de hidrogen care reduc 3 molecule de NAD şi o moleculă de FAD. În plus, se reface acceptorul de acetil, respectiv acidul oxalacetic.

5.2.3. Lanțul respirator

Definiția şi importanța procesului:

- etapa finală a procesului respirator dă electronilor posibilitatea de a-şi descărca, treptat, rezerva de energie pentru a fi recuperată ca ATP şi pentru a fi folosită ulterior pentru derularea tuturor activităților vitale specifice celulei vegetale;
- în faza energogenă cum mai este numită etapa lanțului respirator, electronii sunt preluați pe rând de către transportorii de electroni, care sunt aşezați în ordinea afinității crescătoare pentru aceştia.

Ca o regulă generală, doar atunci când diferența de potențial redox dintre doi transportori este suficient de mare pentru a determina degajarea unei cantități de energie mai mare de 7000 calorii, se sintetizează un mol de ATP.

- la capătul lanțului transportor, electronii întâlnesc oxigenul molecular atmosferic (cel mai pozitiv potențial redox) pe care îl activează, transformându-l în ion negativ:

$$2e + 1/2\ O_2 \rightarrow [O^{2-}]$$

- ionul O^{2-} este pus în paranteză tocmai pentru a arăta că este foarte instabil; el acceptând uşor doi ioni de H^+ va forma o moleculă de apă:

$$[O^{2-}] + 2\ H^+ \rightarrow H_2O$$

Localizarea lanțului respirator. Enzimele implicate în acest proces se găsesc sub formă de ansambluri fixe, în structurile mitocondriei, mai concret în membranele acestui organit. Ele sunt dispuse geometric în aşa fel încât să permită şi să asigure desfăşurarea secvenței reacțiilor pe care le catalizează, în condiții corespunzătoare, normale.

Membrana mitocondrială nu este inertă, ea reprezintă un organ viu, fiind sediul unei complexe activități metabolice.

Reacțiile lanțului respirator. Transportorii de electroni ai lanțului respirator sunt enzime care conțin compuşi capabili să ia parte la reacții redox.

Lanțul respirator conține trei grupe de enzime:

- dehidrogenaze care preiau atomii de H^+ de la substraturile CK;

- flavoproteine (NAD şi FAD) care aprovizionează citocromii cu electronii perechilor de H^+, preluate de prima grupă şi care eliberează în mediu ionii de H^+ corespunzători;
- citocromi; ei preiau electronii de la flavoproteine şi îi transportă la O_2.

Între grupa citocromilor şi celelalte grupe de enzime, există o deosebire sub aspectul capacității de transport. Astfel, în timp ce NAD şi FAD pot accepta şi dona câte doi electroni, citocromii nu pot prelua şi dona decât câte un singur electron.

Ordinea de acțiune a citocromilor este întotdeauna aceeaşi: citocrom b → citocrom c → citocrom a.

Transportul de electroni are ca rezultat final reducerea oxigenului atmosferic de către NADH (redus cu atomii de H^+ produşi în CK) şi formarea de apă.

Este important de remarcat faptul că transportul de electroni poate fi inhibat sau blocat de o serie de compuşi organici sau anorganici, capabili să dea combinații chimice stabile cu unii transportori, ceea ce le va bloca activitatea parțial sau total. Exemple de acest fel pot fi cianurile de potasiu (KCN) sau oxidul de carbon (CO) care pot bloca derularea mecanismului respirator.

Eficiența energetică a lanțului respirator. Studiile efectuate au demonstrat că fiecare trecere a unei perechi de electroni prin lanțul respirator este însoțită de formarea a trei molecule de ATP.

5.3. INFLUENȚA FACTORILOR INTERNI ŞI EXTERNI ASUPRA RESPIRAȚIEI

Factorii interni

Vârsta plantei. Ca o regulă generală, respirația decurge mai intens la plantele tinere, comparativ cu cele aflate în vârstă. La fructele cărnoase tinere, respirația este intensă şi scade odată cu creşterea în dimensiune şi maturarea lor. La alte fructe, în schimb, respirația se intensifică mult la maturarea lor, mai ales odată cu schimbarea culorii. În cazul lor, intensitatea respirației va scădea, în timp, odată cu supramaturarea fructelor.

Cu cât respirația fructelor este mai intensă în perioada de maturare, cu atât şi capacitatea lor de păstrare va fi mai mică.

Organul şi țesutul vegetal. În privința organelor plantei, respirația este mai redusă la nivelul rădăcinii, intensificându-se la organele supraterestre, dintre care, compartimentul florii este cel la care se constată valoarea cea mai ridicată. Argumentul unei respirații intense la nivelul acestui compartiment se leagă de modificările metabolice profunde şi specifice care au loc aici.

Organele aflate în repaus (semințe, tulpini subterane, rădăcini tuberizate) respiră cu intensitate scăzută, comparativ cu aceleaşi organe aflate într-un stadiu de viață activ. Astfel, dacă semințele în formare respiră intens, pe măsura maturării lor, nivelul respirației se va reduce, menținându-se la acelaşi parametru şi în timpul repausului seminal. Ulterior, odată cu germinația, în semințe respirația va spori considerabil.

În privința tipului de țesut vegetal, nivelul respirator este mai ridicat la celulele active comparativ cu ipostaza celulelor slab active fiziologic.

Cantitatea de rezerve organice. Cu cât cantitatea de material organic (glucide, proteine, lipide) furnizată de fotosinteză este mai mare, cu atât şi gradul de exploatare al acesteia este mai mare, aspect regăsit într-o respirație intensă.

Frunzele etiolate crescute la întuneric, datorită lipsei pigmenților asimilatori, nu dispun de rezerve de material organic, iar urmarea acestui fapt se materializează într-o respirație foarte redusă.

Conținutul în apă al celulelor. Dacă la frunze, respirația nu depinde atât de mult de variațiile mici ale conținutului lor în apă, în schimb, la semințe această rezervă este esențială. Astfel, când conținutul în apă din semințe este sub cel al umidității critice de păstrare (7-8% apă la semințele grase şi 12-14% apă la semințele amidonoase), respirația are o intensitate redusă. Procesul respirator se va intensifica pe măsura creşterii conținutului în apă liberă a semințelor, când se vor crea condițiile favorabile unei activități enzimatice susținute.

Excesul de umiditate localizat la nivelul oricărui compartiment al plantei, indică o stare de aprovizionare în oxigen insuficientă, aspect ce se va regăsi într-o respirație derulată la parametri extrem de mici.

Starea fitosanitară a plantei. Se constată, de regulă, la plantele bolnave o intensificare a respirației, drept urmare a activării sistemelor lor enzimatice. Prezența toxinelor elaborate de agenții patogeni implică o respirație intensă la plante, la care se adaugă respirația proprie a acestor agenți patogeni.

Este cunoscută şi situaţia intensificării respiraţiei la plante, drept urmare a unor răni, traumatisme şi înţepături provocate de insecte. Până în momentul cicatrizării porţiunilor afectate, plantele au un ritm respiratoriu intens şi ulterior acesta revine la parametrii normali.

Activatorii şi inhibitorii enzimelor respiratorii. Prezente în celule în concentraţii mici, unele substanţe minerale (fier, cupru, fosfor, potasiu) intensifică respiraţia prin stimularea activităţii unor enzime, iar altele (acizi organici, acid cianhidric, oxid de carbon, bioxid de carbon) acţionează în sens opus, ceea ce va conduce implicit la scăderea derulării acestui proces fiziologic.

Factorii externi

Temperatura. La majoritatea plantelor aflate în timpul vegetaţiei, temperatura minimă necesară respiraţiei este situată în jurul valorii de 0°C. Grâul de toamnă respiră şi la temperaturi mai scăzute (-4°C), iar plantele alpine continuă să respire chiar şi la -17°C.

Temperatura scăzută negativă încetineşte foarte mult activitatea vitală a plantelor, inactivează o serie de sisteme enzimatice şi sporeşte mult vâscozitatea protoplasmei.

Optimul termic al respiraţiei este în jurul valorii de 35°C, peste acest plafon constatându-se o serie de modificări profunde, însoţite implicit de coagularea ireversibilă a conţinutului celular.

Lumina. Acest factor influenţează indirect respiraţia, întrucât în prezenţa sa se desfăşoară fotosinteza care joacă rolul de ofertant organic, adică de material care urmează să fie exploatat de enzimele oxidoreducătoare ale respiraţiei.

Umiditatea din sol şi aer. Un conţinut ridicat de apă în sol, obligă rădăcina plantelor să treacă la o respiraţie anaerobă, ceea ce va conduce la micşorarea activităţii funcţionale a acestui compartiment.

Un conţinut scăzut de apă în sol, intensifică respiraţia întregului individ vegetal, atât la nivelul organelor subterane cât şi supraterestre.

Intensificarea respiraţiei la plante apare şi în situaţia în care la umiditatea scăzută din sol se asociază umiditatea scăzută din aer.

În condiţiile unei umidităţii ridicate a aerului, va scădea intens respiraţia la nivelul frunzelor, datorită închiderii hidropasive a stomatelor care nu sunt altceva

decât porii frunzei care fac legătura între atmosfera internă celulară şi cea externă, formațiuni la nivelul cărora se realizează schimbul respirator gazos.

Concentrația de O_2 şi CO_2 din mediu. Dacă la concentrații de peste 10% O_2, respirația rădăcinilor decurge aerob intens, la concentrații mici de 3% oxigenul devine insuficient, respirația rădăcinilor decurgând anaerob.

Rezerva de O_2 din atmosfera solului scade datorită respirației rădăcinilor şi microorganismelor existente, asistând în acest fel la tendința de sporire a concentrației de CO_2 din atmosfera solului. Această situație evoluează mai rapid în solurile grele şi tasate.

Plantele care posedă țesut aerenchimatic dezvoltat (plantele de orez, chiparosul de baltă) nu vor resimți insuficiența O_2 din atmosfera solului şi vor respira aerob normal.

Creşterea concentrației în CO_2 până la 3-5% din atmosfera solului nu afectează respirația aerobă a plantelor, dar la plafoane mai mari (12,5-15,0%), respirația scade mult sau poate fi oprită tocmai datorită efectului toxic al CO_2.

Substanțele minerale din sol. Există o serie de substanțe minerale (sulfați, nitrați) care după ce au fost absorbite din soluția solului, stimulează foarte mult respirația. Aceleaşi elemente din soluția nutritivă, într-o cantitate supraoptimală, pot deveni toxice pentru organismul viu, provocând astfel scăderea intensității respirației.

Acțiunea unor substanțe chimice. Respirația plantelor este influențată de intervenția unor substanțe chimice (erbicide, insecticide, pesticide), iar efectele lor sunt diferite în funcție de specia plantei asupra căreia acționează, faza de vegetație şi condițiile de mediu în care ea trăieşte.

Test de autocontrol

1. Unde sunt amplasate enzimele responsabile de reacțiile respiratorii specifice ciclului Krebs?
    a. membranele cloroplastului
    b. stroma mitocondriei
    c. vacuola
    d. peretele celular
2. Procesul respirator presupune un schimb de gaze, materializat prin:
    a. absorbție de O_2 şi degajare de CO_2
    b. absorbție de CO_2 şi degajare de O_2
3. Intensitatea respirației diferă în funcție de influența unor factori :
    a. interni şi externi
    b. ereditari
    c. edafici
4. Energia rezultată în urma procesului respirator va fi utilizată în:
    a. creştere
    b. dezvoltare
    c. mişcare
    d. toate procesele fiziologice

C a p i t o l u l 6
CREŞTEREA PLANTELOR

6.1. DEFINIŢIA ŞI IMPORTANŢA PROCESULUI

Creşterea este procesul fiziologic care surprinde aspectul cantitativ din viaţa individului vegetal, aspect care se referă la mărirea stabilă şi ireversibilă a greutăţii şi dimensiunii celulelor, ţesuturilor, a organismului vegetal luat ca întreg.

Creşterea este continuă şi se derulează pe întreg intervalul de viaţă al plantelor, întrucât la nivelul tuturor punctelor de creştere (vârful rădăcinii, vârful tulpinii, muguri, cambiu şi felogen) se păstrează ţesuturi meristematice active, a căror funcţie se leagă de formarea de noi şi noi organe ale plantelor. Ţesuturile meristematice funcţionează permanent atâta timp cât trăieşte organismul vegetal.

Acest proces fiziologic trebuie deosebit de imbibiţie. O simplă imbibiţie cu apă, care este un proces fizic, reversibil, nu constituie o creştere fiziologică. Astfel, seminţele imbibate cu apă, după uscare, revin la dimensiunea şi greutatea lor iniţială. În procesul de creştere fiziologică, embrionul seminţei ajunge la dimensiuni tot mai mari, dar nu mai poate să revină la mărimea pe care o avea iniţial în interiorul seminţei.

Există situaţii când creşterea în dimensiune nu este însoţită şi de o creştere în greutate. Este cazul seminţelor germinate la întuneric din care rezultă plantule cu volum sporit, dar cu o greutate scăzută. În celulele acestor plantule predomină procesele catabolice în detrimentul celor de sinteză (anabolice) care practic sunt nule în lipsa luminii.

În viaţa individului vegetal, pe lângă aspectele cantitative datorate sporirii continue a cantităţii de substanţă uscată, în urma proceselor de sinteză, transformare şi depunere a materialului organic, intervin şi aspecte calitative; acestea ţin de saltul care conduce la împlinirea ciclului ontogenetic al plantelor,

când la nivelul organismului matur apar toate organele vegetative şi generative. Saltul calitativ sau dezvoltarea, presupune apariţia organelor de reproducere, înflorirea şi fructificarea organismului vegetal.

Deşi creşterea şi dezvoltarea sunt două aspecte ale unui proces unic, se poate distinge şi o variaţie în ritmul creşterii sau al dezvoltării. Astfel, o încetinire în ritmul de dezvoltare poate să fie însoţită de o sporire considerabilă a masei vegetale, deci de o creştere puternică. De exemplu, când plantele nu întâlnesc condiţii favorabile de mediu pentru formarea organelor generative, dar sunt condiţii prielnice pentru creştere, ele ating dimensiuni mari, care depăşesc mărimea normală. Este cazul cerealelor de toamnă, care semănate primăvara, cresc, înfrăţesc abundent şi formează o masă vegetativă bogată, dar nu înspică, prin urmare, ele nu se dezvoltă.

Întrucât pe parcursul intervalului de viaţă, organismul vegetal trece prin etape distincte (germene, plantulă, plantă matură, plantă cu flori şi fructe), putem spune că el se află într-o continuă creştere şi dezvoltare, cu specificarea că dezvoltarea este ciclică iar indivizii noi care apar nu fac altceva decât să repete ciclul vital.

6.2. ETAPELE DE CREŞTERE

Procesul fiziologic de creştere se derulează în trei etape distincte:

- etapa creşterii embrionare;
- etapa creşterii prin alungire sau extensie celulară;
- etapa de diferenţiere.

Etapele de creştere se succed în timp şi se petrec în toate vârfurile de creştere, la nivelul cărora există ţesuturi meristematice active. La o plantă se disting atât meristeme apicale sau terminale cât şi meristeme laterale (cambiu şi felogen).

Meristemele apicale sunt localizate în vârful tulpinii, în vârful rădăcinii şi în muguri. Celulele acestor ţesuturi apicale sunt mici, au pereţii subţiri, conţin o protoplasmă densă cu un nucleu central mare, iar vacuolele, dacă sunt prezente, au dimensiuni extrem de mici. Principala funcţie a meristemelor apicale este de a da naştere organelor vegetative; în meristemele apicale ale tulpinilor se diferenţiază şi organele generative. La început, din aceste meristeme, se iniţiază frunze şi lăstari iar ulterior, după un anumit număr de organe vegetative, se vor iniţia flori

sau inflorescenţe. Dacă la grâu, această succesiune este bine delimitată, la mazăre se diferenţiază din meristemele apicale, atât frunze cât şi flori, în acelaşi timp.

Meristemele laterale (cambiu şi felogen) au funcţia de a asigura creşterea în grosime a rădăcinilor şi tulpinilor. Celulele meristematice ale acestor ţesuturi au o formă alungită caracteristică. Celulele cambiale dau naştere spre interior la vase lemnoase iar spre exterior la vase liberiene. Ţesutul cambial este alcătuit dintr-un singur strat de celule, care produce alternativ cele două tipuri de celule diferenţiate. În schimb, ţesutul felogenic, produce spre exterior celule suberificate, iar spre interior celule corticale.

În afară de aceste zone meristematice, unele ţesuturi interioare îşi păstrează capacitatea de diviziune (periciclul), din care se pot forma rădăcini secundare. La graminee, se păstrează în cursul creşterii plantelor o zonă meristematică cu activitate redusă la baza internodurilor, care în cazul căderii plantelor poate să-şi intensifice mult activitatea.

Etapa creşterii embrionare. Această etapă surprinde diviziunea (înmulţirea) celulelor existente în ţesuturile meristematice, în paralel, cu formarea unei protoplasme dense datorate acumulării de substanţe proteice, amidon, lipide şi acizi nucleici.

Etapa creşterii embrionare este facilitată de prezenţa în celulă a nucleului, ribozomilor, acizilor nucleici, a unor vitamine (vitaminele B şi C), a unor pachete enzimatice participante în metabolism şi hormoni naturali (auxine, gibereline şi citochinine), fiind inhibată, în schimb, de prezenţa unor substanţe chimice (colchicina).

Etapa creşterii prin extensie celulară. A doua etapă a creşterii surprinde alungirea (extensia) celulelor iniţiate anterior prin diviziune, rolul esenţial în acest demers revenind membranelor celulozice, ale căror însuşiri se modifică, prin intervenţia acizilor nucleici şi hormonilor naturali de creştere (auxina). Pe lângă rolul auxinei endogene care influenţează întinderea elastică sau plastică a membranelor, lărgirea reţelei fibrilare şi desfacerea legăturilor dintre micelele pectocelulozice, se remarcă şi rolul hemicelulozei care se depune pe suprafaţa internă a membranei, ceea ce implică mărirea plasticităţii şi concură la creşterea permeabilităţii pentru apă, care pătrunde în celulă prin procesul de osmoză (RAY, 1967). Imaginea celulei şi compoziţia ei chimică se deosebeşte net de cea a celulei surprinse anterior în procesul diviziunii. O astfel de celulă are o singură vacuolă mare, rezultată din difuziunea vacuolelor mici, localizată central, iar în sucul său

vacuolar predomină glucide solubile, acizi organici şi săruri minerale. Extensia survine, la plantele anuale, imediat după finalizarea etapei precedente sau după o anumită perioadă de repaus, cum este cazul mugurilor de la plantele lemnoase.

Etapa de diferențiere celulară. Celulele rezultate în urma diviziunii şi care au suferit procese de elongație, în această etapă dobândesc structura, caracterele şi însuşirile proprii țesutului din care fac parte (țesuturi de depozitare, țesuturi mecanice, vase conducătoare, epidermă etc. Această etapă este influențată de raportul dintre substanțele hormonale endogene, stimulatoare sau inhibitoare şi de raportul dintre acestea şi o serie de vitamine (B_6).

Specifice acestei etape sunt şi procesele de îngroşare ale membranei scheletice, proces facilitat de depunerea pe fața internă a acesteia, a unor straturi noi de celuloză, lignină şi suberină. În timp, aceşti produşi se consumă, ajungându-se la ipostaza celulelor lipsite de conținut viu (vase lemnoase) şi care sunt delimitate de o membrană îngroşată.

6.3. LOCALIZAREA CREŞTERII

Țesuturile meristematice răspunzătoare de creşterea continuă a individului vegetal sunt localizate diferit şi se întind pe distanțe de ordinul milimetrilor şi centimetrilor.

Dacă în general, creşterea organelor la plantă este foarte lentă şi se poate stabili numai prin comparație, la intervale mari de timp, există şi excepții, cum este cazul staminelor de secară care cresc rapid în câteva minute şi tulpinile de bambus care cresc 60 cm pe zi.

Zona de creştere la rădăcină. La plantele terestre, zona creşterii rădăcinii este plasată subterminal, pe o distanță foarte mică de 5-10 mm de la vârf. La rădăcinile aeriene, zona de creştere este extinsă la 20-500 mm.

Pentru creşterea rădăcinilor este utilizată energia metabolică eliberată de procesul respirator al celulelor; aceasta se poate transforma în energie mecanică, ceea ce facilitează pătrunderea vârfului rădăcinii printre particulele de sol.

Perioada de creştere activă a rădăcinilor începe mai devreme la plantele tinere comparativ cu cele vârstnice, iar ritmul de creştere depinde de temperatura şi umiditatea solului. Prin urmare, scăderea ritmului de creştere a rădăcinii în timpul verii, se corelează cu reducerea umidității din sol.

Zona de creştere la tulpină. La majoritatea plantelor superioare, zona creşterii tulpinii este amplasată la o distanță mai mare de vârf, față de rădăcină, pe o distanță de 10-15 cm de la vârf.

Conform clasificării făcute de SEREBRIAKOV, se disting trei tipuri de creştere a tulpinii:

- creşterea acropetală, terminală sau subterminală (in);
- creşterea intercalară în care tulpinile au zona de creştere situată între două zone care nu cresc. Zone de acest fel pot apărea la baza tulpinii (crinul roşu) sau la baza internodurilor (graminee);
- creşterea liniară realizată pe toată lungimea tulpinii sau a internodurilor.

Creşterea în grosime a tulpinii începe după deschiderea mugurilor (3-18 zile), când se formează primele celule ale inelului de îngroşare anuală. În funcție de specie şi de complexul unor condiții climatice, acest proces durează între 2-4 luni. În cazul pomilor, creşterea în grosime este mai redusă în primii ani, devenind tot mai intensă până atinge un maxim la vârste înaintate, după care scade treptat odată cu îmbătrânirea pomilor.

Zona de creştere la frunză. Creşterea frunzei este mult mai complexă decât a celorlalte organe. Unele frunze au zona de creştere situată la baza limbului (*Allium cepa*), iar altele prezintă o creştere mai mare spre vârf (ferigi). Se cunosc şi cazuri când frunzele cresc pe toată suprafața lor (unele dicotiledonate).

Creşterea frunzelor perforate este foarte complicată. La plantele ce prezintă această conformație foliară există zone în care nu are loc creşterea, ceea ce determină apariția unor orificii de dimensiuni variate.

Creşterea în grosime a frunzelor este realizată de un țesut meriste-matic amplasat sub epiderma feței superioare. În privința pețiolului frunzei, acesta are zona meristematică amplasată pe toată întinderea sa, surprinzând totuşi o activitate mai intensă a țesutului în imediata vecinătate a limbului foliar.

Creşterea fructelor. Etapele creşterii fructelor sunt succesive şi corespund etapelor de creştere a celulelor. Acestea surprind următoarele momente: etapa de formare, când fructul s-a format şi începe creşterea lui; etapa de creştere propriu-zisă, când fructul se măreşte în volum şi greutate; etapa maturării de recoltare pentru consum, când fructul prezintă calitățile gustative specifice soiului şi etapa îmbătrânirii (supracoacerea).

La fructele pomaceelor, multiplicarea celulară durează aproximativ 4 săptămâni şi după încetarea ei, fructul creşte în volum numai datorită creşterii prin extensie (alungire) a celulelor.

Creşterea în volum a fructelor se datorează activității auxinelor naturale, sintetizate în semințe şi difuzate în pulpa fructului.

6.4. FACTORII EXTERNI CARE INFLUENȚEAZĂ CREŞTEREA PLANTELOR

Asemeni oricărui proces fiziologic, creşterea plantelor este influențată de o serie de factori de mediu, cum ar fi: temperatura, lumina, umiditatea, substanțele minerale etc.

Temperatura. În ceea ce priveşte creşterea, ea urmează, în general, curba proceselor biochimice, având un minim, un optim şi un maxim.

Pentru plantele din regiunile temperate, minimul este în jurul valorii de 0°C, deşi unele plante cresc şi la temperaturi sub 0°C (*Anemone*). Temperatura minimă necesară creşterii are valori diferite în funcție de specie: grâu (0-5°C), vița de vie (5-6°C), fasolea (10-12°C), pepenele şi castravetele (14-18°C).

În ceea ce priveşte optimul, temperaturile variază între 18-35°C; valoarea optimă de temperatură care determină creşterea maximă nu corespunde obligatoriu cu valorile termice necesare altor procese fizio-logice ale plantelor. Se consideră că la fiecare specie ar exista un *optim armonic*, la care toate funcțiile fiziologice ale plantelor se manifestă cu intensitate maximă (MAXIMOV, 1952), dar determinarea valorii sale necesită instalații speciale (seră, fitotron), în care toți factorii să poată fi dirijați concomitent.

Temperaturile ridicate, în special în seră, favorizează creşterea, care este mai rapidă, dar diferențierea țesuturilor tulpinii este slabă iar plantele sunt nerezistente. Ritmul de creştere scade brusc până la încetare la temperaturi de 45-50°C.

Variațiile de temperatură au şi efecte morfologice. Astfel, la temperaturi scăzute pozitive, tuberculii de cartof dau naştere la stoloni scurți, terminați cu tuberculi mici. La *Petunia*, temperaturile ridicate favorizează formarea de flori albastre, iar la temperaturi scăzute, apariția florilor de culoare albă.

S-a demonstrat, de asemenea, că o variație a temperaturilor între zi şi noapte este necesară pentru o creştere, dezvoltare şi fructificare normală la plante (WENT, 1928).

Lumina. Ritmul de creştere al plantelor este influențat de acest factor atât din punct de vedere cantitativ (intensitatea luminii) cât şi calitativ (culorile luminii). Nu trebuie neglijat nici aspectul duratei de iluminare zilnică a plantelor.

Plantele ținute la întuneric au o creştere intensă, dar devin etiolate (țesuturi nediferențiate, internoduri alungite, frunze mici) şi au o fructificare slabă. La lumină, plantele cresc mai puțin decât la întuneric, dar în timp mai îndelungat şi sunt mai viguroase, având o talie mai mare. Această diferență este în legătură cu procesul fotosintetic, în care se acumulează substanță organică necesară creşterii. O altă influență favorabilă a luminii este stimularea migrației substanțelor organice din frunze. Astfel, dacă plantele primesc mai puțină lumină, fluxul de substanțe organice se îndreaptă spre rădăcini, iar dacă ele primesc un regim de lumină mai lung, fluxul de substanțe se direcționează spre partea superioară a plantei (PÉTERFI şi SĂLĂGEANU, 1972).

În privința compoziției spectrale, în lumină roşie, tulpinile cresc mari şi frunzele plantelor rămân mici. Paralel cu scăderea lungimii de undă, de la 650-700 nm (roşu) spre 400-480 nm (albastru) se constată o descreştere a lungimii tulpinii, însoțită de o mărire a suprafeței limbului foliar. Astfel se explică înălțimea redusă a plantelor alpine la care concură cantitatea mare de raze ultraviolete din compoziția luminii care degradează auxinele endogene, stimulatoare de creştere.

Gradul de saturare cu apă. Acest factor concură la asigurarea creşterii celulelor prin diviziune şi extensie, având valori diferențiate de la o specie la alta. Astfel, dacă la mucegaiuri creşterea încetează când hidratarea țesuturilor scade sub 95%, semințele uscate rămân în stare de repaus, păstrându-şi viabilitatea şi germinează repede când gradul de hidratare este de 50-60%. În condiții de secetă, țesuturile meristematice se deshidratează, blocându-se astfel creşterea prin extensie celulară, ceea ce va implica o talie mică plantelor, a căror frunze şi flori sunt, de asemenea, reduse ca dimensiune.

Oxigenul. Prezența acestui gaz în atmosfera solului şi a aerului, în parametrii corespunzători, influențează creşterea armonioasă a organelor subterane şi supraterestre ale plantei. Dozele optime de O_2 în sol se încadrează între 3-8%, iar mărirea lor contracarează acțiunile negative ale unor gaze toxice.

Creşterea rădăcinii este influenţată şi de concentraţia de CO_2 din atmosfera solului: la 25% O_2, plantele rezistă chiar dacă concentraţia de CO_2 este de 45%.

Substanţele toxice. În atmosferă pot să apară gaze toxice, în special în zonele industriale, ceea ce influenţează negativ creşterea plantelor. Astfel, bioxidul de sulf, clorul şi amoniacul sunt dăunătoare în concentraţii ce depăşesc limita normală, determinând apariţia pe frunze a unor pete transparente care devin, în timp, brune sau clorotice.

Sărurile minerale. Concentraţia sărurilor minerale determină modificări în creşterea celulelor, ţesuturilor, a plantei luate ca ansamblu. Carenţa sau lipsa elementelor minerale se manifestă prin reducerea creşterii până la stagnare, iar o concentraţie mai ridicată este, de asemenea, dăunătoare.

6.5. SUBSTANŢELE DE CREŞTERE

Descoperirea substanţelor cu acţiune regulatoare asupra creşterii – stimulatorii de creştere, inhibitorii, retardanţii – a pus la îndemâna specialiştilor un instrument eficace, de un deosebit rafinament, pentru dirijarea şi controlul proceselor de creştere şi dezvoltare ale plantei, ale producţiei vegetale (NEAMŢU şi IRIMIE, 1991).

Se consideră substanţe de reglare a creşterii toţi compuşii organici naturali sau sintetici care prezintă, în cantităţi mici, efecte asupra ritmului şi proporţiilor de creştere. Diferenţele specifice dintre substanţele care se încadrează în aceste categorii constau în efectul particular al acţiunii: stimulare – frânare, inhibiţie – activare.

Fitoregulatorii de creştere sunt substanţe biologic active, naturale sau sintetice, care influenţează creşterea şi dezvoltarea plantelor, mărind totodată rezistenţa acestora la acţiunea nefavorabilă a factorilor de stres. Din această grupă de substanţe fac parte stimulatorii, inhibitorii şi retardanţii. Aceste substanţe nu acţionează separat, ci se intercondiţionează reciproc, astfel că reacţiile plantelor, în toate fazele de creştere şi dezvoltare reprezintă rezultatul unui echilibru între compuşii stimulatori şi cei inhibitori.

Fitohormonii au un spectru larg de acţiune, ei putând influenţa şi alte procese biochimice şi fenomene biologice: germinarea, pornirea sau inhibarea mugurilor, randamentul fotosintezei, circulaţia apei şi a sevei brute şi elaborate, înflorirea şi fecundarea, mişcarea etc.

În practica agricolă, fitohormonii sunt utilizați în cantități mici, de ordinul ppm, având un efect pronunțat, în special asupra organismelor tinere, dacă sunt aplicați în anumite fenofaze şi într-un context climatic favorabil. Pentru ca acțiunea acestor compuşi să fie cât mai eficientă, este necesar să se administreze la momentele optime, în concentrații fiziologice active, să fie uşor absorbiți şi transportați la locul de reacție şi să manifeste o acțiune specifică asupra proceselor biochimice şi fiziologice.

Substanțele regulatoare de creştere acționează în organismele vegetale fie în mod independent, fie în interacțiune cu alți fitohormoni (sinergic sau antagonic) sau în asociere cu alte substanțe biologic active (enzime, vitamine, antibiotice, acizi nucleici etc.). Fitohormonii endogeni pot acționa la locul lor de sinteză (în anumite celule ale plantelor) sau la locul lor de reacție, loc care este asemeni unei zone de recepție; hormonii ajung aici în urma migrării lor de la locul de sinteză, ca urmare a stimulului recepționat.

Majoritatea fitohormonilor endogeni se găsesc în plante sub formă activă, liberă sau sub formă inactivă, care serveşte ca formă netoxică de păstrare şi de transport. Ajunşi de la locul de sinteză endogen sau de la locul de aplicare exogenă, în zona de reacție, ei vor recepționa o serie de semnale şi vor reacționa la stimulii percepuți, determinând schimbări care sunt răspunsuri specifice la nivel biochimic, fiziologic sau morfologic date de organismul vegetal. Răspunsul poate fi imediat sau întârziat, el depinzând de mai mulți factori: starea fiziologică a celulelor cu calitatea de centrii receptori, natura semnalului, condițiile de mediu etc. (CACHIȚĂ-COSMA, 1988).

Funcționarea centrilor de sinteză a hormonilor endogeni şi a zonelor de reacție, se realizează sub un control enzimatic specific care blochează sau deblochează realizarea unor transformări biochimice în procesele de creştere şi dezvoltare ale plantelor.

6.5.1. Substanțele stimulatoare

Auxinele

Sunt primele substanțe bioactive descoperite şi descrise de savanții N.HOLODNÎI şi F.W.WENT, în anul 1928. Grație cercetărilor ulterioare conduse de WENT, auxinele au intrat definitiv în ansamblul cercetărilor moderne, auxinologia impunându-se ca o ramură nouă a ştiinței.

Auxinele sunt compuşi naturali, fiziologic polivalenţi care, în doze extrem de reduse, direct sau indirect, pot afecta creşterea şi dezvoltarea plantelor, respectiv formarea organelor vegetative şi generative.

Prezența auxinelor naturale în plante. S-a evidențiat prezența lor în concentrații extrem de reduse în diferite organe ale plantelor, în special, în organele de creştere activă: muguri, rădăcini, frunze tinere, vârfuri de tulpină, polen, ovar fecundat, cotiledoane şi semințe imature.

Diferențele de concentrații din diferite zone de creştere ale părții aeriene vegetale, pot fi puse în corelație cu sensibilitatea la auxine a acestor organe ale plantelor. În general, mugurii sunt mai sensibili decât tulpina, cele mai sensibile fiind însă rădăcinile.

În țesuturile cu creştere activă există două tipuri de auxine:

- **auxine libere** sau difuzabile care pot fi separate prin difuzie, acestea reprezentând până la 30% din total;
- **auxine legate** sau nedifuzabile care pot fi extrase numai cu anumiți solvenți organici (eter).

Auxina legată de anumite proteine (acid aspartic, fenilalanina) reprezintă componentul activ în procesele de creştere; eliberarea auxinelor de substratul proteic se realizează prin acțiunea enzimelor proteolitice.

Circulația auxinelor în plante. Auxina se sintetizează în frunzele tinere şi de la acest nivel migrează spre vârfurile de creştere ale tulpinii şi lăstarilor, sub formă inactivă, legată de proteine. În vârfurile vegetative, auxinele inactive, după desprinderea de proteine sub acțiunea enzimelor proteolitice, devin libere, active şi uşor circulante prin plante. Mişcarea auxinelor endogene şi a celor aplicate extern se face polar (într-o singură direcție), mai mult bazipetal (de la apex spre bază) şi mai puțin acropetal (de la bază spre vârf).

Migrarea bazipetală are la bază principiul polarității, datorită diferenței de potențial electric dintre vârful plantei (cu sarcină electrică negativă) şi baza plantei (cu sarcină electrică pozitivă). Astfel se explică faptul că auxinele încărcate cu sarcină electrică negativă, circulă, în principal, spre polul pozitiv bazal.

J. VAN OVERBEEK (1966) consideră că substanțele de creştere aplicate pe frunze circulă numai prin liber, în timp ce produşii activi absorbiți prin rădăcini circulă numai prin lemn. Între cele două tipuri de vase (liber şi lemn) are loc un schimb hormonal permanent, cu sens lateral, care asigură continuitatea mecanismului de circulație hormonală. Astfel, deplasarea transversală a auxinelor

în organele aşezate orizontal (DUMITRESCU, 1975) explică geotropismul la plante şi fotoperiodismul la organele iluminate lateral.

Viteza de transport a auxinelor este de 4 mm/oră în rădăcini şi de 10-12 mm/oră în celelalte compartimente ale plantei.

Substanțele stimulatoare sintetice. Dintre compuşii sintetici cu structură asemănătoare celor endogeni şi care au o influență puternică asupra metabolismului plantelor, se numără: acidul alfa-naftilacetic (ANA), acizii alfa- şi beta-fenoxiacetici, acidul indolil-butiric (AIB), acidul 2,4-diclorfenoxiacetic (2,4-D), acidul indolilacetic (AIA) etc.

Acțiunile fiziologice ale auxinelor. Consecințele acțiunii auxinelor endogene şi sintetice se regăsesc într-o serie de reacții particulare de creştere, dezvoltare şi metabolism la plante.

Modificări citologice. Tratamentul auxinic intensifică alungirea membranei celulare şi asigură o îngroşare a membranelor, prin stimularea depunerii de noi substanțe formative, ceea ce va duce, în final, la creşterea prin extensie a celulelor. Prin urmare, se vor modifica şi proprietățile fizice ale membranelor, cele structurale şi chimice.

Modificări biofizice la nivel celular. Tratamentele cu auxine sintetice au demonstrat efectul acestora în mărirea presiunii osmotice a sucului celular, mărirea forței de sucțiune şi a absorbției active a apei şi ionilor minerali, acțiuni reglate de sistemele biologice şi mai puțin de sistemele osmotice.

Schimbări în metabolismul celular. Auxinele intervin în mărirea conținutului de glucide reducătoare, în sinteza unor metaboliți ai plantelor, îndeosebi a vitaminelor (acid nicotinic, acid ascorbic, B_1, K) şi a coenzimelor, ale căror activitate creşte în tulpini şi scade în frunze. Tratamentele auxinice au rol important inclusiv în metabolismul acizilor nucleici (ADN şi ARN).

Stimularea germinării semințelor. Tratamentele auxinice au un efect de mărire a facultății şi energiei germinative, în special, la semințele cu germinație întârziată sau la cele păstrate mult timp.

Efecte asupra înrădăcinării butaşilor, puieților şi arborilor la transplantare. Utilizarea auxinelor sintetice a găsit o largă aplicare în practica horticolă, având rol în formarea rădăcinilor la specii de plante care în mod normal, înrădăcinează greu prin butaşi (*Rosa*, *Magnolia*, *Hibiscus* etc.). Sub acest aspect, numeroşi compuşi sintetici s-au dovedit foarte activi (AIA, ANA, acidul 2,4-D) şi

aplicarea lor este de perspectivă la butăşire, marcotaj, transplantarea puieților din pepinieră etc.

Efecte asupra formării şi căderii fructelor. În procesul de fecundare, un rol esențial îl au auxinele endogene existente în grăunciorii de polen, precum şi cele din țesuturile stilului şi ovarului, care acționează fie în sens stimulator, fie inhibitor, rezultanta acestor acțiuni fiind concretizată prin formarea şi creşterea fructului.

Creşterea fructului se bazează pe conținutul de auxine endogene care sunt sintetizate în zona semințelor. De aici, acționează ca un mesager chimic pentru stimularea creşterii pulpei fructului, prin intensificarea diviziunii şi extensiei celulare.

Pe baza administrării auxinelor endogene este posibilă formarea fructelor fără polenizare, obținându-se fructe partenocarpice (fără semințe) la tomate, vinete, pepeni, fragi, struguri etc. Încetarea creşterii fructului şi căderea prematură se datorează reducerii treptate a auxinelor şi acumulării de substanțe inhibitoare naturale. Situația se poate remedia prin aplicarea stropirilor auxinice (ANA, 2,4-D) care previn căderea fructelor înainte de recoltare, accelerează maturarea lor şi intensifică pigmentarea pieliței.

Rolul auxinelor în formarea mugurilor şi înflorire. Auxinele endogene, în cantități ridicate, au rol de a menține mugurii în stare de latență, la pomi şi la tuberculii de cartofi. În primăvară, când scade conținutul de auxine naturale, poate avea loc pornirea mugurilor în vegetație. La aplicarea substanțelor de creştere, s-a constatat că dozele care produc stimularea creşterii tulpinii au efect de inhibare în dezvoltarea mugurilor, întârziind pornirea lor în vegetație. Acest efect este explicat prin diferențele de sensibilitate între cele două compartimente (tulpină şi muguri) la anumite concentrații de auxine. Pentru a evita vătămările ce pot fi cauzate de gerurile târzii la pomii fructiferi şi la materialul săditor din pepiniere, tratamentele cu substanțe auxinice sintetice s-au dovedit deosebit de eficace, determinând o întârziere a deschiderii mugurilor florali cu 1-2 săptămâni, până când dispare pericolul de vătămare.

În declanşarea înflorii, un rol important îl dețin auxinele endogene existente în ovar, la baza inflorescenței şi în peduncul. Polenul conține şi el auxine endogene implicate în creşterea inițială a ovarului şi a noului fruct.

Întârzierea îmbătrânirii țesuturilor. Tratamentele auxinice fac posibilă întârzierea îmbătrânirii țesuturilor vegetale, prin menținerea unui nivel ridicat de proteine şi acizi nucleici în țesuturi.

Giberelinele

Sunt stimulatori naturali ai creşterii şi dezvoltării plantelor, cu efecte adesea spectaculoase, care datorită rezultatelor remarcabile regăsite în producția agricolă şi horticolă, se bucură de o atenție deosebită în rândul specialiştilor.

Descoperirea giberelinelor este legată de numele fitopatologului japonez E.KUROSAWA care, în anul 1926, a observat în culturile de orez o ciupercă parazită care produce boala "bakanae", cu unele simptome caracteristice. Specialistul japonez a fost primul care a cultivat plante pe un mediu steril în care a fost crescută ciuperca respectivă, obținând efectul bakanae: plante cu creştere rapidă, cu tulpini alungite şi subțiri, frunze mari, înguste, subțiri şi mai deschise la culoare şi a căror înflorire se făcea mai devreme cu 2-3 zile (cuvântul bakanae în limba japoneză înseamnă "plante nebune").

Ciuperca a primit denumirea de *Giberella fujikuroi* iar substanța activă a fost izolată în anul 1935 de către T.YABUTA, care o denumeşte giberelină; ulterior a fost produsă pe scară industrială.

Treptat au fost descoperite diferite tipuri de gibereline, cu structuri diferite, în prezent cunoscându-se peste 52 de gibereline cu notații de înregistrare de tipul GA_1….GA_{52}. Dintre acestea, GA_3 se dovedeşte a fi cea mai activă în stimularea creşterii, în grăbirea diferențierii florilor sau în inducerea partenocarpiei.

În structura chimică a giberelinelor există un schelet comun, numit gibban, la care se anexează grupări laterale. Diferențele dintre formele de gibereline constau în numărul şi amplasarea grupărilor hidroxilice, metilice şi a radicalului lactonic.

Prezența giberelinelor în plante. S-au detectat gibereline naturale la multe specii de plante horticole: semințe de mazăre, fasole, lupin, zorele şi pepene verde în curs de maturare, rădăcini de mazăre şi fasole, tuberculi de cartof în stare de repaus sau în curs de formare. Se consideră că procesul de formare a tuberculilor ar fi declanşat din momentul în care concentrația giberelinelor naturale din plantă scade sub un anumit plafon. S-au identificat gibereline inclusiv la ciuperci, bacterii, alge, muşchi şi ferigi.

Circulația giberelinelor în plante. De la nivelul locurilor de sinteză care sunt diferite (embrionii semințelor în curs de germinare, frunzele tinere, mugurii apicali, organe florale, vârfuri de rădăcini), giberelinele circulă în toate țesuturile plantei, prin xilem şi floem, cu o viteză de 5 cm/oră. Prin urmare, transportul giberelinelor în plante nu are o direcționare polară, ca în cazul auxinelor.

Mecanismul acțiunii giberelinelor. Aceşti compuşi apar ca activatori eficienți ai creşterii țesuturilor vegetale, întrucât acționând asupra metabolismului hormonilor de creştere, vor determina acumularea lor în țesuturi. Giberelinele accelerează creşterea organelor vegetale, prin sporirea conținutului de auxine din țesuturi, pe două căi:

- prin stimularea sintezei auxinelor naturale; după tratamentul cu GA_3, conținutul de auxine sporeşte de 200 de ori la mazăre;
- prin frânarea degradării oxidative a auxinelor naturale.

În plus, giberelinele exercită acțiuni de stimulare a creşterii plan-telor şi prin intensificarea pronunțată a diviziunii celulare din apexul tulpinii, drept urmare a implicării lui în metabolismul acizilor nucleici (ADN, ARN).

Acțiunile fiziologice ale giberelinelor:

Modificări în procesul de diviziune celulară. Toate etapele de creştere, de la germinația semințelor până la formarea fructelor, sunt reglate hormonal, în special, prin modificările produse de gibereline asupra diviziunii şi elongației celulare. Principala acțiune a giberelinelor constă în stimularea elongației celulare, respectiv întinderea membranelor şi mărirea volumului celular.

Stimularea germinației semințelor. Tratamentul cu GA_3 determină întreruperea stării de repaus seminal şi stimulează energia şi facultatea

tfel, semințele de cartof care, în mod normal, a luni de repaus, pot încolți după 7 zile prin), la temperaturi de 10-15°C (LAM, 1968). În mod giberelină întrerup starea de repaus la mugurii or.

Stimularea creşterii tulpinii.

Constituie cea mai evidentă acțiune fiziologică a giberelinelor care se manifestă prin alungirea tulpinii şi schimbarea habitusului general al plantelor. În urma tratamentelor cu GA_3 are loc o stimulare

energică a creşterii tulpinilor şi lăstarilor, a căror internoduri se alungesc prin intensificarea elongației celulelor epidermice şi parenchimatice. Numeroase specii de plante (fasole, mazăre, cartof, cânepă) pot ajunge la 5 m înălțime, în urma tratamentelor repetate (fig.6.1).

Aplicarea tratamentelor cu acest hormon învinge şi fenomenul de nanism (piticire) şi provoacă o creştere rapidă a plantelor, de peste 10 ori față de martor.

Fig. 6.1. Reacția plantelor la tratamentul giberelinic

Creşterea frunzelor. În urma tratamentelor cu GA_3 se constată o stimulare a creşterii suprafeței foliare, consecință directă a intensificării diviziunii şi extensiei celulare (ridiche, trifoi, cartof, muşcată).

Modificarea dominanței apicale. Este cunoscut traseul parcurs de auxină de la nivelul mugurelui apical, descendent, prin tulpină, situație care împiedică creşterea mugurilor laterali (axilari). Giberelina aplicată direct pe mugurii axilari determină pornirea în vegetație a acestora, rezultând o creştere stufoasă, cu multe ramificații laterale (crizanteme).

Stimularea înfloririi şi fructificării. Aplicarea exogenă a diferi-telor gibereline produce efecte radicale în procesele de înflorire, cum ar fi: alungirea organelor florale, grăbirea formării florilor, germinarea polenului şi alungirea tubului polinic, învingând chiar unele incompatibilități fiziologice de fecundare.

Giberelinele datorită particularităților lor, pot să înlocuiască, în anumite situații, inducția termică şi fotoperiodică (vernalizare şi fotoperiodism), provocând înflorirea în condiții în care plantele nu pot înflori. Astfel, ele provoacă înflorirea plantelor bianuale (morcov, pătrunjel) încă din primul an de vegetație.

Tratamentele cu gibereline la plante determină inclusiv apariția fenomenului de partenocarpie. Astfel, la tomate creşte frecvența partenocarpiei de 500 de ori, iar la măr, păr şi struguri reprezintă singura cale concretă de obținere a fructelor partenocarpice (Suciu şi Milică, 1982).

Modificări în metabolismul plantelor. Principalele modificări fiziologice şi biochimice produse de gibereline la plante sunt:

- intensificarea transpirației şi mărirea consumului de apă la unitatea de suprafață foliară;
- intensificarea fotosintezei, chiar din primele ore după tratamentul cu GA_3;
- stimularea respirației semințelor în cursul germinației;
- întârzierea procesului de îmbătrânire a țesuturilor vegetale datorită menținerii unui anumit conținut de proteine şi acizi nucleici;
- intensificarea acțiunii unui grup de enzime (invertaza, peroxidaza) care intervin în diversificarea metabolismului glucidic, lipidic şi proteic, ducând la formarea de noi produşi intermediari.

Citochininele

Încă din secolul trecut, oamenii de ştiință au presupus existența în plante a unor compuşi bioactivi, care în concentrații foarte scăzute stimulează diviziunea celulară. Abia în anul 1955, MILLER a sintetizat un compus organic, aminopurina, care s-a dovedit eficace în stimularea diviziunii celulare (citochineza) din țesuturile calusu-lui extras din măduva tulpinii de *Nicotiana*. Ulterior, toate substanțele cu acțiune biologică similară au primit denumirea de chinine, chinetine sau citochinine.

Prezența citochininelor în plante. S-au identificat compuşi cito-chininici endogeni la aproximativ 40 specii de plante superioare, în diferite compartimente ale acestora: semințe în curs de germinare de lactuca, mazăre, lupin, în rădăcini, în seva circulantă prin xilem şi în fructele tinere de măr, păr, piersic, gutui şi tomate. Citochininele au fost puse în evidență şi la nivelul muşchilor, extractelor de drojdii, ciupercilor şi bacteriilor fitopatogene.

Prima extragere şi purificare a citochininelor naturale revine lui LETHAM (1963), care a folosit boabe nemature de porumb dulce şi a reuşit să izoleze o substanță naturală pură, în stare cristalină, pe care a numit-o zeatină.

Circulația citochininelor în plante. Biosinteza acestor hormoni are loc în rădăcini, de unde circulă spre apex (acropetal), prin țesuturile vasculare ale tulpinii, respectiv prin xilem şi mai puțin prin floem, odată cu curentul de transpirație.

Substanțele stimulatoare sintetice. În afara citochininelor naturale, au fost sintetizate numeroase substanțe chimice care exercită proprietăți similare

celor endogene. Dintre aceste citochinine sintetice pot fi menţio-nate: 1-benziladenina, adenina, 6-benzilamino-purina şi 6-fenil-amino-purina.

Acţiunile fiziologice ale citochininelor. Efectul citochininelor naturale şi sintetice asupra plantelor se explică prin acţiunea lor directă asupra acizilor nucleici, în stimularea sintezei acidului ribonucleic. Pentru a fi active citochininele se cuplează cu ARN-t.

Stimularea diviziunii celulare. Aplicarea exogenă a acestui hormon produce modificări în ciclul mitotic al celulelor, rolul citochininelor fiind acela de a stimula diviziunea celulară în ţesuturile de calusare.

Stimularea diferenţierii şi formării organelor la plante. Raportul existent între citochininele şi auxinele naturale influenţează procesele de diferenţiere ale ţesuturilor plantei. Astfel, când în acest raport, chinetina este în cantitate redusă are loc diferenţierea rădăcinii, iar dacă chinetina se regăseşte în doze mari, asistăm la diferenţierea mugurilor.

Sub acţiunea citochininelor naturale sau sintetice este indusă formarea fructelor partenocarpice, se stimulează legarea fructelor, creş-terea fructelor şi seminţelor în fruct, fapt care deschide perspective în utilizarea citochininelor pentru creşterea hibrizilor din forme la care căderea timpurie a florilor şi fructelor împiedică obţinerea materialului de înmulţire.

Citochininele au rol important în stimularea diferenţierii mugurilor vegetativi şi în modificarea raportului dintre florile mascule şi cele femele, fie prin feminizarea unor flori hermafrodite, fie prin schimbarea unor flori mascule în hermafrodite. Pentru inducerea înfloritului, citochininele inter-vin prin substituirea unor factori naturali.

Întârzierea îmbătrânirii ţesuturilor. Explicaţia acestui efect pe care îl au citochininele se leagă de proprietatea lor de a stimula sinteza protei-nelor, pigmenţilor clorofilieni, acizilor nucleici şi prin dirijarea circulaţiei substanţelor asimilate spre ţesuturile şi organele cu rol primordial din plante.

6.5.2. Substanţele inhibitoare

Existenţa în stare naturală a substanţelor endogene inhibitoare, a fost stabilită cu mare întârziere datorită prezenţei concomitente, în aceleaşi ţesuturi şi organe, a substanţelor stimulatoare. Încă din sec. al XIX-lea s-a formulat ideea că încolţirea seminţelor în fruct ar fi blocată de substanţe endogene inhibitoare.

Încadrarea unui anumit compus în categoria inhibitorilor de creştere necesită anumite rezerve, întrucât acelaşi compus poate să inhibe sau să stimuleze creşterea, în funcție de concentrația ajunsă la nivelul diferitelor organe ale plantelor. La concentrații mici, atât substanțele stimulatiare cât şi cele inhibitoare grăbesc procesele de creştere. În zona concentrațiilor fiziologic active se înregistrează diferențierea netă a efectului diferitelor tipuri de compuşi: auxinele stimulează, inhibitorii frânează creşterea, în timp ce toxinele provoacă moartea plantelor. Dacă dozele cresc supraopti-mal, toate tipurile de substanțe conduc la moartea țesuturilor, a organis-mului vegetal luat ca întreg.

Inhibitorii naturali. Acest grup de substanțe naturale din plante include diferite lactone, compuşi fenolici simpli sau complecşi şi acizi organici care sunt prezente, în doze diferite, la nivelul unor compartimente distincte ale plantei (semințe, muguri, frunze, bulbi, tuberculi etc.)

Inhibitorii naturali au capacitatea de a reduce sau anula activitatea substanțelor stimulatoare şi de a provoca o inhibare a creşterii plantelor, cu intensități diferite, până la starea de repaus profund.

Principalii compuşi endogeni sunt: inhibitorul beta, acidul abscisic, florizinul, cumarina şi scopoletina.

Acidul abscisic este prezent în toate speciile vegetale, cu variații sezonale în funcție de starea fiziologică a țesuturilor: frunze de *Brassica oleraceae*, lăstari de fasole, tomate, tuberculi de cartof, semințe de porumb etc.

Transportul acidului abscisic din zona de sinteză în cea de acțiune se face prin floem, de unde se extinde în seva xilemului. Circulația sa are loc după o polaritate distinctă, fiind de trei ori mai intensă în sens descendent decât ascendent.

Viteza de transport a acidului abscisic prin tulpină este de 20-35 mm/oră, ceea ce demonstrează faptul că ea se desfăşoară de 4-6 ori mai rapid decât deplasarea substanțelor stimulatoare de creştere.

Acțiunile fiziologice ale inhibitorilor naturali:

- prezintă acțiuni antiauxinice, antigiberelinice şi anticitochininice;
- mențin starea de repaus a plantelor fiind prezenți în țesuturile meristematice;
- reglează creşterea mugurilor şi înflorirea, prin modificarea rapor-tului dintre substanțele stimulatoare şi cele inhibitoare;

- favorizează (acidul abscisic) procesul de abscisie (cădere) a frunzelor şi fructelor, prin grăbirea formării stratului de separare din peţiol şi peduncul;
- acţionează în calitate de antimetaboliţi (florizinul), întrerupând sinteza acizilor nucleici şi a proteinelor;
- inhibă (cumarina) încolţirea seminţelor prin frânarea diviziunii celulare şi creşterii sistemului radicular;
- grăbesc îmbătrânirea ţesuturilor şi descompunerea clorofilei.

Inhibitorii sintetici. Ideea sintetizării unor compuşi cu rol de inhibare a proceselor metabolice din plante, s-a legat de o serie de scopuri impuse de cerinţele practicii agricole şi horticole, mai cunoscute fiind următoarele produse: hidrazida maleică, actino-micin-D, chloramfenicolul şi puromicina.

6.5.3. Substanţele retardante

Aceste substanţe, alături de stimulatori şi inhibitori, intervin în metabolismul plantelor, reducând pentru o anumită perioadă de timp ritmul de creştere al acestora. Întrucât efectul acţiunii lor este unul de întârziere a proceselor de creştere, aceste substanţe au primit denumirea de retardanţi. Retardanţii se deosebesc net de stimulatorii de creştere dar şi de substanţele inhibitoare, întrucât nu blochează ireversibil procesele metabo-lice vitale ale plantelor, nu provoacă malformaţii la nivelul organelor vegetale sau reproductive, iar viabilitatea plantelor nu este diminuată de prezenţa lor.

Tipuri de compuşi sintetici. Datorită proprietăţilor fizico-chimice şi biologice caracteristice, au fost sintetizaţi numeroşi compuşi cu acţiuni retardante care sunt înseriaţi sub denumirea de Compusul I, II, …. etc.

Compusul I are efecte de frânare a proceselor de elongaţie a tulpinilor, fără dereglări formative, iar Compusul II are rol în inhibarea sintezei giberelinelor, scăderea conţinutului de auxine naturale, având aplicabilităţi multiple în horticultură.

Dintre toţi, Compusul VII are cea mai mare aplicabilitate în practica agricolă şi horticolă; el are denumirea comercială de Cycocel, clorură de clorcolină sau CCC. Acest compus acţionează ca un antimetabolit, antigiberelină şi antiauxină, frânând sistemele enzimatice implicate în sinteza substanţelor endogene cu rol stimulator.

Efectul stimulator al CCC-ului asupra formării organelor generative a fost explicat de MILICĂ (1965) prin acţiunea retardantului în redistribuirea substanţelor

organice care, în loc să servească la creşterea în înălțime a tulpinii şi lăstarilor, deservesc organele de reproducere. Circulația CCC-ului este nepolară, prin fasciculele libero-lemnoase ale plantei, acumularea sa făcându-se în părțile cele mai tinere, în special în țesuturile meristematice active din zona apicală a plantelor şi în nodurile tulpinii.

Acțiunile fiziologice ale retardanților.

Modificarea caracterelor anatomo-morfologice ale plantelor. Tratamentele cu retardanți efectuate în faza de diferențiere şi alungire, vor frâna procesele de creştere în lungime a tulpinilor şi lăstarilor, mai ales la nivelul internodurilor. Un asemenea tratament reduce la grâu lungimea paiului cu 20-45 cm iar la plantele horticole, rezultatul administrării retardanților va consta în obținerea unor răsaduri viguroase, de bună calitate, cu internoduri scurte, tulpini îngroşate şi ramificații laterale bogate.

Stimularea înfloririi. Substanțele retardante intervin în transformarea mugurilor vegetativi în muguri florali, grăbind astfel înflorirea la diferite plante floricole, legumicole şi pomicole. Ele modifică exprimarea sexului la plantele monoice şi andromonoice (castravete, pepene, dovleac), creşte numărul de flori femele purtătoare de fruct iar înflorirea se declanşează aproape simultan, înlesnind recoltarea mecanizată a castra-veților şi valorificarea lor cu cheltuieli reduse.

Stimularea fructificării şi maturării. La speciile pomicole, după tratamentele cu retardanți se înregistrează o creştere a recoltei de fructe, prin diminuarea căderii fiziologice a fructelor tinere din luna iunie sau înainte de recoltare, ca urmare a modificării echilibrului competitiv dintre creşterea lăstarilor şi formarea fructelor. La unele specii horticole (măr, cireş, piersic) se intensifică ritmul de colorare a fructelor, ceea ce îmbună-tăţeşte calitatea şi măreşte valoarea comercială a acestora.

Mărirea rezistenței la factori nefavorabili. Tratamentele cu retardanți măresc rezistența plantelor la temperaturi scăzute, secetă, arşiță, salinitate, boli şi dăunători, prin îmbunătățirea potențialului de adaptare a plantelor la impactul factorilor nefavorabili. Motivația acestor efecte se leagă de abilitatea retardanților de a mări forța osmotică a celulelor şi conținutul de acid ascorbic din frunzele şi rădăcinile plantelor tratate, care în acest fel devin mai tolerante la o serie de excese.

6.6. CORELAȚIILE ŞI DOMINANȚA APICALĂ

Corelațiile se referă la ansamblul interacțiunilor fiziologice stabilite între țesuturile şi organele plantei, rezultatul acestei interacțiuni regăsindu-se într-o creştere armonioasă a tuturor compartimentelor plantei şi în asigurarea unei rezerve de muguri pentru ciclurile de vegetație viitoare. Corelațiile dintre diferitele părți ale plantelor au un rol important în creşterea organelor vegetative.

Este cunoscută influența mugurelui terminal (apical) asupra creşterii mugurilor laterali (axilari). Acest fenomen, cunoscut sub denumirea de **dominanță apicală**, este foarte răspândit la plante. În cazul în care se îndepărtează, prin tăiere, vârful tulpinii sau vârful lăstarului principal, mugurii laterali încep să crească, formând fiecare câte o ramură, respectiv lăstari noi.

Există situații când constatăm faptul că inhibiția mugurelui terminal nu este atât de radicală, astfel că din mugurii axilari iau naştere lăstari scurți cu câteva frunze (specii din fam. *Labiatae*, *Vicia*). Dacă la *Vicia*, lăstarii noi ocupă partea bazală a tulpinii, la alte plante, lăstarii apar la mijlocul tulpinii (*Cicer*) sau sub inflorescență (*Inula*).

Dominanța apicală poate să se manifeste şi atipic. Astfel, la plantele din fam. *Caryophyllaceae* creşte unul din perechea de muguri opuşi, iar la nodul următor, mugurele din cealaltă poziție. Fenomenul de dominanță apicală este cu atât mai slab cu cât mugurii laterali sunt mai depărtați de vârf. La *Kochia*, dominanța apicală lipseşte, planta crescând sub formă de tufă.

Dominanța apicală exercitată de mugurele apical se explică prin sensibilitatea diferită a mugurilor față de concentrațiile mari de auxine naturale acumulate în apex. De la nivelul apexului, auxinele migrează bazipetal (descendent) prin tulpină sau lăstar şi inhibă creşterea mugurilor laterali, mult mai sensibili. După îndepărtarea mugurelui apical se ajunge la o concentrație optimă de auxine în mugurii laterali care, în scurt timp, cresc şi formează lăstari (PÉTERFI şi SĂLĂGEANU, 1972). Elucidarea completă a fenomenului de dominanță apicală a fost oferită de experiența din anul 1974 efectuată de LIBBERT, care consideră că frânarea creşterii mugurilor axilari nu se datorează numai auxinelor, ci şi unor substanțe inhibitoare, de tipul cumarinei. Această substanță se formează în rădăcină şi în frunzele mari, de unde migrează spre tulpini, la nivelul cărora se combină cu auxina. Asemenea combinații mențin mugurii axilari într-o stare de repaus prelungit.

Există situații când dominanța apicală poate să dispară. Astfel, la unele plante lemnoase (*Prunus padus*), în timpul maturării lemnului, mugurii intră în repaus sub acțiunea substanțelor inhibitoare migrate din frunze. Ca urmare a modificării raporturilor dintre muguri, dominanța apicală va dispărea.

Pe lângă dominanța apicală există şi un caz particular, acela al **dominanței fiziologice**, care pune în balanță factorul trofic, respectiv importanța nutriției mugurilor. Dominanța fiziologică se materializează prin concurența pentru substanțele nutritive dintre organele de fructificare şi restul plantei, dintre rădăcini şi masa supraterestră şi dintre muguri şi frunze. De regulă, organele de fructificare polarizează substanțele nutritive, exercitând acțiuni negative asupra mugurilor. Astfel se explică faptul că, în anii cu fructificare puternică şi pe un fond nutrițional slab, are loc o creştere redusă a plantei şi o diminuare a numărului de muguri floriferi pentru anul următor.

6.7. REGENERAREA ŞI POLARITATEA

Regenerarea este procesul fiziologic care se referă la capacitatea unor porțiuni desprinse de pe o plantă, de a reface în întregime planta respectivă. Fragmente mici de tipul: tulpini cu muguri, rădăcini, frunze, calus şi celule individualizate sunt apte să formeze țesuturi şi organe cu funcții bine definite, regenerând astfel întregul organism vegetal.

Regenerarea stă la baza înmulțirii vegetative prin frunze (*Bryophyllum*), stoloni (*Fragaria*, *Mentha*), marcote (vița de vie), butaşi de tulpină (pomi fructiferi) şi butaşi de frunze (*Begonia rex*). Altoirile au la bază tot un proces de regenerare a calusului dintre altoi şi portaltoi.

La frunze, regenerarea se efectuează, de preferință, vara sau primă-vara. Frunzele unor plante sunt capabile să formeze rădăcini, dar nu formează muguri, prin urmare, ele nu formează plante noi. Astfel, dacă se ține pețiolul frunzei de *Aucuba japonica* în apă, la temperaturi de 23-25°C, ea formează rădăcini adventive (fig.6.2). Frunza poate trăi în astfel de condiții mai mulți ani. Experimentul reuşeşte şi cu frunze de lămâi.

Există însă şi plante ai căror butaşi de frunză pot forma şi muguri. Această însuşire se manifestă la frunzele de *Begonia rex* (fig.6.3), dacă se fixează cu fața inferioară în vase Petri pe nisip umed, ancorând pețiolul lor în acest substrat. Dacă se secționează limbul lor în câteva locuri cu o lamă, pe nervura mediană, se va

constata ulterior formarea unui calus, urmarea materializându-se prin apariția rădăcinilor adventive şi a mugurilor care dau lăstari. Se regenerează astfel, întreaga plantă.

Fig. 6.2. Regenerarea frunzelor de *Aucuba japonica*

Fig. 6.3. Regenerarea frunzelor de *Begonia rex*

Cultura de celule şi țesuturi este o formă nouă de înmulțire vegetativă, punctul de plecare în această tehnică constituindu-l meriste-mele, măduva tulpinii, floemul, calusul sau celula somatică. Capacitatea unei singure celule de a regenera întregul organism vegetal, poartă numele de **totipotență celulară**.

Polaritatea se referă la însuşirea plantelor de a forma la extremitățile sale opuse, organe distincte ca structură anatomo-morfologică. Fenomenul se datorează faptului că în organizarea plantei există un vârf (pol apical) şi o bază (pol bazal), care reacționează diferit din punct de vedere morfologic şi funcțional.

Această însuşire care apare ca o expresie a diferențierii funcțiilor şi a specializării organelor, se manifestă şi la nivelul organelor sau părților de organe separate.

Întotdeauna la polul apical se vor forma lăstari cu frunze (pol caulogen) iar la polul bazal, rădăcini (pol rizogen). Poziția şi funcțiile celor doi poli se corelează cu sensul polar de circulație a auxinelor naturale din lăstari. Astfel, prin migrarea auxinelor spre polul rizogen, se micşorează cantitatea de auxină din partea superioară, ceea ce va face ca mugurii să nu mai fie inhibați, să pornească în creştere, rezultând lăstari.

S-a constatat că la unele specii (*Salix*), polaritatea nu are un caracter atât de rigid (fix), iar inversarea poziției butaşilor va determina şi schimbarea poziției celor doi poli (fig.6.4).

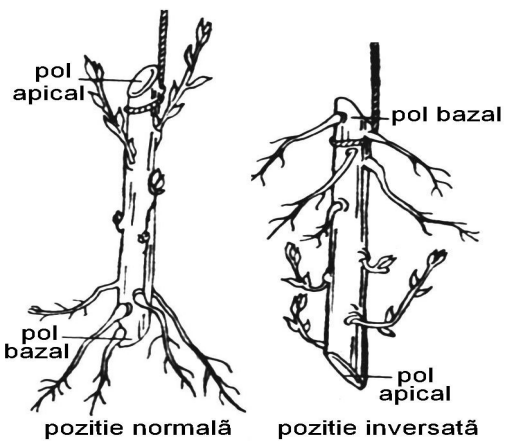


Fig. 6.4. Butaşi de salcie crescuți în cameră umedă

Prin operații de inelări sau tăieri se poate inversa polaritatea, astfel că fiecare din porțiunile despărțite se va comporta asemeni unui butaş aparte. Asemenea operații sunt frecvente în practica pomicolă şi viticolă, având legătură cu scopurile urmărite de practician.

Test de autocontrol

1. Ce reprezintă creşterea pentru plante?
    a. un proces calitativ
    b. premisa declanşării procesului de germinație
    c. declanşarea mişcării
    d. un salt cantitativ
2. Cum se numesc celulele implicate în procesul de creştere la plante?
    a. mecanice
    b. meristematice
    c. secretoare
    d. conducătoare
3. Ce relații există între substanțele stimulatoare, inhibitoare şi retardante din plante?
    a. antagonice
    b. de intercondiționalitate
4. Care dintre următoarele substanțe fac parte din categoria auxinelor sintetice?
    a. zeatina
    b. acidul indolil butiric
    c. giberelina
    d. citochinina

C a p i t o l u l 7
DEZVOLTAREA PLANTELOR

7.1. DEFINIȚIA ŞI PRINCIPIILE DEZVOLTĂRII

Evoluția individului vegetal debutează odată cu germinația seminței şi ulterior, pe măsura parcurgerii unor etape complexe, surprinde formarea şi creşterea organelor vegetative (etapa vegetativă), apariția organelor de reproducere (etapa generativă), îmbătrânirea şi moartea plantei. Aceste etape complexe şi modificări se petrec într-o succesiune riguroasă, urmează o ordine naturală, firească şi sunt determinate de factori ereditari, care se manifestă numai sub influența factorilor de mediu.

Prin urmare, în viața individului vegetal surprindem **salturi cantitative**, de acumulare de masă vegetativă şi **salturi calitative** care constau într-o serie de modificări de ordin morfologic, anatomic, biochimic şi fiziologic, care au drept rezultat apariția organelor de reproducere. Dacă în prima parte a ciclului vital al plantelor se formează organe vegetative (rădăcini, tulpini şi frunze), abia în a doua parte a acestui ciclu, identificăm la plante compartimente noi (flori, fructe şi semințe), adică organe de reproducere.

Pe lângă aspectele uşor vizibile, saltul calitativ este însoțit şi de o serie de modificări profunde în biochimismul plantei, în procesele fiziologice ale creşterii, în activitatea enzimatică a celulelor etc. Modificările calitative generează un alt

unghi din care putem privi planta, întrucât pe lângă faptul că ea posedă alte însuşiri, dispune şi de alte raporturi faţă de mediul extern.

Plantele dispun de mijloace fiziologice (reacţii) de a nu înflori decât la o anumită vârstă şi într-un anumit sezon al anului, acela favorabil reproducerii şi înmulţirii lor. Dacă unele plante înfloresc primăvara devreme (ghiocei, zambile), altele înfloresc vara (grâu, orz, porumb) sau toamna (crizanteme, brânduşe de toamnă, gherghine). Sfecla de zahăr şi varza înfloresc în al doilea an de viaţă, *Agave americana* (din Mexic) după 10 ani de viaţă, iar plantele lemnoase (măr, păr) înfloresc între al 5-lea şi al 8-lea an de viaţă, comparativ cu stejarul care înfloreşte după 15-20 ani.

Plantele dispun şi de starea de juvenilitate iar aceasta corespunde debutului creşterii lor, când plantele nu înfloresc întrucât nu au dimensiunile corespunzătoare. Perioada juvenilă poate dura mult la unii arbori (30-40 ani) sau câteva săptămâni la plantele ierboase.

Declanşarea înfloritului se face după o anumită perioadă de timp, necesară creşterii în lungime a tulpinii care trebuie să se afle la o anumită distanţă faţă de rădăcină; mugurii laterali dintr-o astfel de regiune, când vor fi suficient de distanţaţi de rădăcini, vor forma o ramură scurtă pe care va fi iniţiată floarea.

Floarea este generată de vârful tulpinii care dă naştere şi organelor vegetative. Există trei tipuri de apex: vegetativ, florifer şi inflorescent. Floarea se formează prin conversia unui apex vegetativ într-o floare terminală, prin activitatea meristematică a unui explant al tulpinii sau prin activitatea unui meristem care generează inflorescenţe în mod sistematic.

Apexurile vegetative şi cele florifere generează structuri repetitive sau ciclice. În timp ce producţia unei flori solitare este ritmică, în cazul organelor dispuse în rozetă, producţia este succesivă şi nu pe de-a întregul ciclică (CRISTINA DOBROTĂ şi YAMASHITA, 1999).

Pentru multe plante, trecerea de la faza vegetativă la cea generativă înseamnă şi sfârşitul vieţii lor. Durata vieţii individului vegetal variază foarte mult. Astfel, viaţa individului la unele bacterii durează 30 de minute iar la algele verzi ciclul vital se realizează în câteva ore, zile sau săptămâni. La polul opus se află plantele seculare (*Pinus, Populus*) sau milenare (*Taxus, Taxodium, Platanus* etc.) care ajung să trăiască sute sau mii de ani.

Din punct de vedere al interdependenței dintre perioada vegetativă şi cea generativă, plantele se împart pe categorii distincte: plante efemere, plante monocarpice şi plante policarpice.

Plantele efemere sunt acelea care în decursul unui an calendaristic prezintă mai multe generații succesive, având o perioadă de vegetație foarte scurtă. Ca plantă efemeră, *Draba verna* (flămurica) are un ciclu de viață foarte scurt de 5-6 săptămâni.

Plantele monocarpice fructifică doar o singură dată într-un ciclu de viață individual. Din această categorie fac parte plantele anuale şi bienale. La plantele anuale, ciclul de viață se suprapune pe intervalul unui an calendaristic, această reacție fiind specifică majorității plantelor agricole. Plantele bienale, în schimb, având un ciclu ontogenetic de 2 ani, în primul an vor creşte vegetativ şi în al doilea an vor forma flori şi fructe (morcov, sfeclă, varză).

Plantele policarpice sunt cele care trăiesc mai mulți ani (perene) dar care înfloresc şi fructifică fie în fiecare an, fie o dată la doi ani. Prin urmare, plantele policarpice nu mor după prima fructificare şi se deosebesc între ele după durata perioadei de vegetație, adică după timpul necesar până la prima fructificare. Astfel, mărul înfloreşte după 5-7 ani, iar stejarul după 20-25 ani. În plus, plantele policarpice se deosebesc şi după intervalul lor de viață. Dacă unele trăiesc doar câțiva ani (trifoi, lucernă), stejarul trăieşte câteva sute de ani, iar arborele Mamut (*Sequoia gigantea*) supraviețuieşte de ordinul a câtorva mii de ani.

7.2. FIZIOLOGIA FORMĂRII FLORILOR (ANTEZA)

Înflorirea plantelor sau anteza este un proces morfo-fiziologic complex care cuprinde mai multe etape:

- inducția florală, în urma căreia are loc transformarea vârfului (meristemului) vegetativ în primordii florale;
- formarea mugurelui floral, prin creşterea primordiilor florale;
- formarea părților reproducătoare (polen şi ovul);
- deschiderea florilor.

Transformarea primordiilor foliare în primordii florale se realizează prin diferite fenomene de creştere: diviziune, alungire şi diferențiere celulară, histogeneză, organogeneză şi prin trecerea de la viață latentă la statutul vieții active.

În genetica moleculară, tranziția meristemului apical de la starea vegetativă la anteză se explică prin activitatea unor gene, numite **gene florale**, care în meristemul vegetativ nu au funcționat dar care ulterior, au devenit funcționale. Aceste gene florale cuprind informația genetică necesară pentru caracterele meristemului floral. Cât timp planta a rămas în stare vegetativă, aceste gene au fost în stare de represie.

În concepția elaborată de G.KLEBS (1918), transformarea meristemului vegetativ în meristem floral, s-ar datora influenței exercitate de o serie de factori externi care produc transformări în metabolismul plantei, ceea ce generează sinteza unor substanțe necesare formării florilor. Prin urmare, factorii externi nu acționează direct asupra proceselor de reproducere, ei doar influențează starea fiziologică a plantei, modificând raportul cantitativ al unor substanțe nutritive care se acumulează în celule. Când raportul glucide şi substanțe azotate (C:N) este în favoarea carbonului se formează florile, iar în cazul unui raport invers, plantele cresc numai vegetativ. Ulterior, s-a constatat că această teorie nu are un caracter general, ceea ce a însemnat anularea valabilității sale.

O altă teorie care reactualizează concepția lui J.SACHS (1863) este teoria hormonală a antezei. Conform acesteia, pentru formarea florilor este nevoie de o **substanță stimulatoare (hormon floral** sau **florigen)** care ar fi sintetizată în frunze, care migrează prin pețiol în tulpină şi care ajunge în meristemul apical unde activează genele florale.

Florigenul este produs de frunze sub influența factorilor de mediu iar acțiunea sa se materializează prin tranzacția ce o impune de la starea vegetativă la anteză, proces însoțit de o serie de modificări anatomice şi morfologice, în special la nivelul speciilor care produc inflorescențe terminale. Astfel, la crizanteme, în timpul tranziției, are loc o creştere a suprafeței apicale de 400 de ori (SCHWABE, 1959) iar la *Xanthium* se lățeşte mult apexul sau devine globular (varza de Bruxelles).

Tranziția de la faza vegetativă la cea generativă presupune o etapă complexă de transformări în urma cărora primordiile vegetative dau naştere omoloagelor lor, respectiv la macro- şi microsporofile şi la elementele periantului.

Dintre factorii externi care influențează procesul de dezvoltare a plantelor, temperatura joasă pozitivă şi durata de iluminare zilnică (fotoperioada) se constituie ca stadii obligatorii. Stadiul în care tempera-turile joase pozitive reprezintă condiția trecerii de la faza vegetativă la cea generativă se numeşte

vernalizare (iarovizare), iar stadiul în care durata de iluminare zilnică reprezintă factorul determinant al dezvoltării plantelor se numeşte **fotoperiodism**.

7.3. CONCEPTUL DE VERNALIZARE. VERNALIZAREA LA DIFERITE GRUPE DE PLANTE

Înflorirea plantelor sau anteza, ca proces morfo-fiziologic complex, este influențată de condițiile termice care acționează într-un mod particular:

- unele plante înfloresc numai după ce sunt supuse, un interval de timp, acțiunii temperaturilor joase pozitive. Frigul permite realizarea maturității fiziologice pentru anteză, însă primordiile florale se formează mai târziu, după finalizarea perioadei de acțiune a temperaturilor joase. Această acțiune a frigului, a temperaturilor joase pozitive, poartă numele de vernalizare;
- formarea primordiilor florale are loc după vernalizare, în anumite condiții termice, specifice fiecărei grupe de plante. În această fază, temperatura acționează direct asupra formării primordiilor florale;
- există situații când, creşterea primordiului floral poate fi întreruptă printr-o perioadă termică nefavorabilă creşterii, prin inducerea stadiului de repaus. Prin urmare, temperatura influențează şi comportamentul mugurilor.

Influența profundă a temperaturilor joase pozitive asupra inițierii şi dezvoltării organelor de reproducere dar şi asupra ieşirii din repaus a mugurilor şi semințelor (postmaturație), l-au determinat pe CHOUARD (1960) să definească **rolul fiziologic al vernalizării** ca fiind dobândirea sau accelerarea capacității de înflorire a plantelor, sub strictul control al tratamentului cu temperaturi scăzute.

După cerințele pentru temperaturi scăzute, plantele au fost împărțite în trei grupe mari:

- plante anuale de toamnă, care îşi încep vegetația la sfârşitul toamnei, rezistă peste iarnă sub formă de plantule şi sunt vernalizate în stadiu de sămânță;
- plante bienale, care intră în iarnă sub formă de plantule destul de mari, înfloresc în anul următor şi sunt vernalizate într-o fază de creştere mai avansată;
- plante perene, care în fiecare sezon produc lăstari sau ramificații noi, care necesită temperaturi scăzute pentru a putea forma flori.

Vernalizarea plantelor anuale. Diferențele fiziologice existente între plantele anuale de toamnă şi anuale de primăvară au condus la definirea noțiunii de vernalizare (lat. *ver* = primăvară), în urma unor experiențe efectuate de

GREGORY şi PURVIS (1952) la soiul Petkus de secară. Ei au demonstrat faptul că secara de primăvară nu necesită vernalizarea, iar dacă este crescută în seră, la temperaturi de 18°C, începe procesul de diferențiere a primordiilor florale în faza de 7 frunze.

La secara de toamnă, crescută în aceleaşi condiții, procesul de diferențiere are loc mai lent, abia când planta a format 20-25 de frunze, dacă este expusă la condiții de zi lungă. De asemenea, dacă secara de toamnă se seamănă primăvara, ea va înflori cu întârziere, fiind în mod constant supusă temperaturilor mai ridicate.

Dacă semințele germinate din forma de toamnă sunt supuse timp de 30 de zile la o temperatură de 2°C iar dacă după acest tratament sunt semănate în sol şi ținute la temperaturi de 18°C, în seră, se va constata că tulpinile formate poartă primordii florale în faza de 7 frunze.

Prin urmare, sub influența temperaturilor scăzute pozitive, secara de toamnă a devenit matură pentru anteză în aceeaşi fază de dezvoltare ca şi secara de primăvară. Prin vernalizare, forma de toamnă devine practic o formă de primăvară (fig.7.1).

Fig. 7.1. Plante nevernalizate (a) şi vernalizate (b)

Vernalizarea plantelor bienale. Există plante bienale (varza, morcovul, sfecla, *Hyoscyamus niger* forma bienală etc.) la care vernalizarea este absolut obligatorie şi plante bienale care nu necesită în mod absolut vernalizarea (*Centaurea, Cicuta*). Excepția de la comportamentul celor două categorii de plante o constituie varza de Bruxelles (*Brassica oleraceae gemmifera*); florile ei se formează în timpul unei lungi perioade juvenile, la temperaturi de 5-10°C, dar temperaturile scăzute nu sunt necesare pentru o vernalizare propriu-zisă, cât pentru formarea primordiilor florale.

Comportamentul plantelor bienale care necesită obligatoriu vernalizarea se materializează în felul următor: în primul an, ele formează o rozetă de frunze iar după vernalizare în cursul iernii, în anul următor vor forma o tulpină floriferă, cu condiția ca să primească peste 14 ore de lumină pe zi. După terminarea procesului

de vernalizare, plantele bienale au o reacție fotoperiodică tipică de plante de zi lungă.

Comportamentul plantelor bienale care nu necesită în mod obligatoriu tratament cu temperaturi scăzute este explicabil prin aceea că, aceste plante nu înfloresc decât după ce sunt supuse zilelor lungi, mai multe decât există într-un singur sezon de vegetație.

Însuşirea plantelor de a reacționa la tratamentul cu temperaturi scăzute este determinată genetic şi în favoarea acestei idei se află comportamentul măsălariței (*Hyoscyamus niger*), care are două forme: anuală şi bienală. Forma anuală înfloreşte în primul an de vegetație, iar cea bienală necesită, obligatoriu, o perioadă de frig, pentru ca în al doilea an de vegetație să poată înflori. Complexul genetic necesar pentru modificarea proceselor chimice specifice, în vederea inițierii florale, se pare că lipseşte la forma bienală, dar poate fi substituit printr-un tratament cu temperaturi joase. Perceperea acțiunii frigului se face, la aceste plante, în stadiul lor de plantule, în vârstă de cel puțin 10 zile (CHOUARD, 1960).

Vernalizarea plantelor perene. Acest tip de vernalizare a fost elucidat datorită studiilor făcute la *Geum urbanum*, a cărei frunze sunt dispuse sub formă de rozetă, pornind de pe un rizom subteran. După trecerea iernii, pe plantă apar lăstari laterali pe care se formează flori. În această situație, caracterul de perenitate este asigurat de mugurele terminal al rozetei, care nu se vernalizează.

La alte plante (*Lolium perene*, *Dactylis glomerata*, *Poa pratensis*), se vernalizează lăstarul principal care înfloreşte iar lăstarii laterali, apăruți vara, asigură caracterul de perenitate. La unele ierburi (*Phleum pratense*), perenitatea este asigurată de intrarea în repaus a lăstarilor de toamnă, sub acțiunea zilelor scurte.

7.4. FOTOPERIODISMUL. ROLUL FITOCROMULUI ÎN REACȚIA FOTOPERIODICĂ A PLANTELOR

Încă din anul 1920, W.W.GARNER şi H.A.ALLARD au stabilit, în mod experimental, faptul că anumite plante înfloresc cu atât mai repede cu cât este mai scurtă durata luminii zilnice, în timp ce altele înfloresc mai repede dacă aceeaşi durată este mai mare. Această reacție a plantelor la variația duratei luminii zilnice se numeşte **fotoperiodism**. În plus, ei au stabilit foarte clar faptul că în procesul

fotoperiodismului, are importanță raportul duratelor de lumină şi de întuneric şi nu separat, perioada de lumină respectiv, perioada de întuneric.

Termenul de **fotoperiodism** defineşte reacția unei plante la durata perioadelor zilnice de lumină şi de întuneric. În lumea vegetală, există multe procese fiziologice complexe care sunt dependente de fotoperiodism: repausul mugurilor, căderea frunzelor, formarea bulbilor şi tuberculilor, anteza, rezistența plantelor la ger etc. (MOORE, 1979).

După modul în care procesul de înflorire este influențat de durata expunerii plantelor la lumină, acestea se împart în trei grupe distincte: plante de zi scurtă, plante de zi lungă şi plante indiferente.

Plantele de zi scurtă înfloresc cu atât mai repede cu cât este mai scurtă perioada de iluminare din timpul zilei. Ele au nevoie de 6-12 ore de lumină pe zi. Durata luminii care depăşeşte lungimea critică (durata minimă de iluminare în decurs de 24 ore), va menține planta de zi scurtă în stare vegetativă. Lungimea critică a zilei este specifică pentru fiecare specie.

Aceste plante sunt răspândite în regiunile tropicale şi subtropicale. Cultivate în regiuni nordice, aceste plante înfloresc numai toamna.

Din această grupă fac parte plantele din genurile *Glycine*, *Euphorbia*, *Chrysanthemum*, *Xanthium*, *Nicotiana*, meiul, cânepa etc.

Plantele de zi lungă înfloresc când se depăşeşte numărul de ore de lumină critică. Ele au nevoie de o iluminare zilnică de peste 14 ore până la lumină continuă. Aceste plante sunt răspândite în regiunile nordice şi temperate. Cultivate în regiuni sudice, aceste plante înfloresc mai târziu.

Dintre plantele de zi lungă amintim: *Hyoscyamus niger*, *Hordeum vulgare*, *Spinacia oleracea*, *Triticum aestivum*, *Secale cereale*, *Beta vulgaris*, *Daucus carota* etc.

Plantele indiferente înfloresc după o anumită perioadă de creştere vegetativă, independent de lungimea fotoperioadei. Prin urmare, la aceste plante, lungimea iluminării nu influențează înflorirea. Din această grupă de plante fac parte: *Helianthus annus*, *Cucumis sativus*, *Taraxacum offici-nalis*, *Zea mays* etc.

Există specii de plante care necesită pentru a înflori fotoperioade lungi, urmate de fotoperioade scurte (*Bryophyllum crenatum*) şi plante care înfloresc la succesiunea inversă a fotoperioadelor (*Trifolium repens*).

O categorie interesantă o constituie plantele care nu înfloresc deloc la fotoperioade nefavorabile; sunt plantele cu **reacție fotoperiodică calitativă**.

Comparativ cu acestea, există plante cu **reacție fotoperiodică cantitativă** care au capacitatea de a înflori şi la fotoperioade neinductive, dar cu o mare întârziere.

S-a constatat, de asemenea, faptul că în cadrul aceluiaşi gen există specii, varietăți sau soiuri care prezintă reacții fotoperiodice diferite. Astfel, la genul *Nicotiana* există planta de zi scurtă (*Nicotiana tabacum*) şi planta de zi lungă (*Nicotiana sylvestris*). Această diversitate de forme prezintă importanță pentru procesul de ameliorare.

Fitocromul P_{660} în urma absorbției unei cuante de lumină (la 660 nm), devine nestabil şi se transformă în fitocrom P_{730}, care absorbind şi el o cuantă de lumină în zona roşu-închis, se transformă în P_{660}, cu eliberare de energie. Prin urmare, între cele două forme de fitocrom se realizează o stare de echilibru numită **stare fotostaționară**, care permite menținerea permanentă în celule a formelor P_{660} şi P_{730}.

Conținutul total de fitocrom din celule (P_{total}), se stabileşte prin însumarea celor două forme fotoizomere ale sale, conform relației:

$$\mathbf{P_{total} = P_{660} + P_{730}}$$

Starea staționară se stabileşte în zona 400-800 nm, în care cele două forme ale fitocromului absorb cuante de lumină.

Cercetările spectrofotometrice au demonstrat că P_{730} se poate transforma în P_{660} şi la întuneric, într-un interval de timp de 3 ore şi 25 minute, iar o parte se descompune sub acțiunea enzimelor.

La sfârşitul zilei predomină în frunze izomerul P_{730}, care în timpul nopții se transformă în P_{660}. Plantele înfloresc atunci când se reduce cantitatea de P_{730}. Faptul că o parte din P_{730} se degradează, determină micşorarea randamentului reacției reversibile de transformare a P_{730} în P_{660}.

Sub aspectul eficienței celor două fotoreacții fundamentale, reacția I sub aspect energetic este de două ori mai eficientă decât reacția II:

$$\mathbf{P_{660} \underset{II}{\overset{I}{\rightleftharpoons}} P_{730}}$$

În legătură cu rolul fitocromului în reacția fotoperiodică, s-a stabilit că unul din cele mai importante procese a reacțiilor de întuneric este transformarea lui $P_{730} \rightarrow P_{660}$. Dacă înfloritul plantelor de zi scurtă necesită prezența P_{660} în timpul nopții lungi, înfloritul plantelor de zi lungă necesită prezența P_{730}.

În decursul zilei, în plantă se va acumula fitocromul P_{730} care absoarbe radiația roşu-închis. Această formă a pigmentului este inhibitoare pentru înfloritul

plantelor de zi scurtă şi stimulatoare pentru înfloritul plantelor de zi lungă (SUCIU şi MILICĂ, 1982).

La începutul unei perioade de întuneric, forma sensibilă la roşu închis (P_{730}) va fi supusă unei degradări termice şi spontan se transformă în forma fitocromului care absoarbe roşu deschis (P_{660}). Aceasta stimulează înfloritul plantelor de zi scurtă şi inhibă înfloritul plantelor de zi scurtă. Transformarea în timpul nopții a lui P_{730} în P_{660} durează 3 ore şi 25 minute.

Rolul reacțiilor de întuneric în procesul fotoperiodic din frunză, s-a studiat, în special, la plantele de zi scurtă, iar reacțiile au următoarea succesiune:

a) reacții de întuneric, care se petrec în primele 2-3 ore ale nopții lungi, când are loc transformarea lui P_{730} în P_{660}; aceste reacții determină latura calitativă a efectului fotoperiodic, spre înflorire sau stare vegetativă;

b) reacții de întuneric, care au loc în prima jumătate a nopții lungi;

c) reacții de biosinteză a hormonilor înfloritului, care au loc în a doua jumătate a nopții lungi.

Reacțiile de lumină şi de întuneric, prin caracteristicile lor biochimice, sunt identice la speciile de zi lungă şi zi scurtă, prin sistemul de pigmenți receptori şi depind de condițiile de mediu. Astfel, dacă lungimea perioadei de întuneric determină inițierea reală a primordiilor florale, în schimb, lungimea perioadei de lumină determină numărul de primordii florale care se vor forma.

Importanța perioadei de întuneric asupra înfloritului a fost demonstrată încă din anul 1938 (HAMNER şi BONNER), în experiențele efectuate cu *Xanthium*, care este o plantă de zi scurtă. Dacă perioada lungă de întuneric, necesară acestei plante pentru a înflori, este fragmentată în două perioade, planta va rămâne în stadiu vegetativ. În situația în care se întrerupe perioada de lumină şi se introduce o perioadă scurtă de întuneric, planta va înflori.

Test de autocontrol

1. Dintre factorii care influențează declanşarea procesului de înflorire la plante, fac parte:
    a. temperatura scăzută negativă
    b. succesiunea anotimpurilor
    c. temperatura scăzută pozitivă
    d. densitate plantelor la unitatea de suprafață

2. Ce proces fiziologic influențează vernalinul şi fitocromul din plante?
    a. fotosinteza
    b. respirația
    c. dezvoltarea
    d. mişcarea

3. Ce reprezintă procesul de înflorire pentru plante?
    a. un salt calitativ
    b. un proces de autoapărare
    c. un fenomen cantitativ

4. Care din următoarele plante sunt bienale?

a. morcov

b. porumb

c. cereale

C a p i t o l u l 8

MIŞCĂRILE PLANTELOR

8.1. DEFINIREA NOȚIUNII DE MIŞCARE LA PLANTE

Fiind un atribut al materiei vii, această proprietate fiziologică este specifică şi plantelor. Ele execută mişcări foarte variate, unele destul de rapide, astfel că pot să fie observate uşor (mişcarea diatomeelor). Cele mai multe mişcări la plante sunt lente şi pot să fie observate numai după un timp mai îndelungat, dar eficacitatea lor, ca reacție la anumiți stimuli şi ca o adaptare, este tot atât de perfectă ca şi la animale.

În general, mişcările la plante au ca scop o mai bună nutriție a lor, orientarea organelor în spațiu pentru îndeplinirea optimă a funcțiilor, înmulțirea plantelor şi reacții de apărare.

Mişcările plantelor se împart în mişcări pasive şi active.

Mişcările pasive sunt favorizate de prezența unor adaptări care permit plantelor întregi sau anumitor organe ale acestora, să fie deplasate dintr-un loc în altul, de o serie de agenți fizici sau biologici.

Mişcările active sunt efectuate de plante cu propria lor energie. Indiferent de nivelul structural la care se manifestă (în interiorul celulelor sau la organele plantelor), mişcările active pot fi autonome sau induse.

Mişcările autonome sunt executate sub influenţa unor factori interni, proprii organismelor. La plantele superioare aceste mişcări sunt cunoscute sub denumirea de **nutaţii**.

Mişcările induse sunt produse de direcţia de acţiune sau de variaţiile de intensitate ale unor factori ai mediului extern.

Mişcările induse executate de organele plantelor fixate se numesc **tropisme**, iar cele executate de organele acestor plante sub acţiunea variaţiei de intensitate a unor factori ai mediului extern, poartă denumirea de **nastii**.

8.2. MIŞCĂRILE INTRACELULARE

La nivel celular se manifestă atât mişcări autonome cât şi mişcări induse. Dintre acestea cele mai cunoscute sunt: mişcările curenţilor citoplasmatici, nucleului şi cloroplastelor.

Mişcările curenţilor citoplasmatici sunt autonome şi se pot observa, cu uşurinţă, la celulele frunzelor de *Elodea canadensis*, după deplasarea cloroplastelor. La aceste celule care au o singură vacuolă mare şi poziţionată central, cloroplastele se deplasează într-un singur sens, respectiv în sensul acelor de ceasornic, în imediata vecinătate a pereţilor celulari. Prin urmare, mişcarea cloroplastelor este imprimată de curenţii citoplasmatici, care le antrenează în sensul deplasării citoplasmei.

La celulele cu două vacuole, despărţite între ele printr-un strat de citoplasmă, curentul circulă prin acest strat într-un singur sens, se ramifică ulterior spre extremitatea celulei şi ia sensuri diferite. La celulele cu multe vacuole (la perii staminelor de *Tradescantia*), curenţii circulă în sensuri diferite, prin straturile de citoplasmă periferică şi dintre vacuole.

Mişcările nucleului au fost observate în perii absorbanţi ai rădăci-nilor şi în tuburile polinice; în aceste compartimente, nucleii se deplasează spre punctele

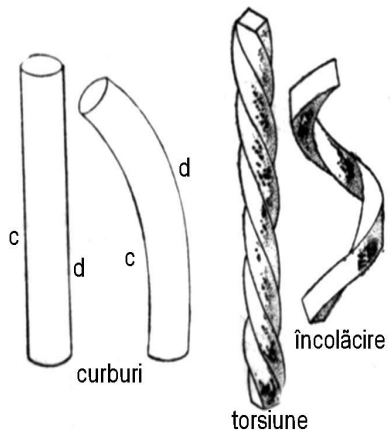
cu activitate metabolică mai intensă. În cazul unei răniri, nucleii se deplasează către peretele celular din apropierea leziunii respective.

Mişcările cloroplastelor sunt induse întrucât aceste formaţiuni îşi pot schimba locul în interiorul celulelor asimilatoare, în funcţie de intensitatea luminii. Astfel, la lumină slabă, ele se aşează în apropierea pereţilor celulari pe care cade lumina, iar în lumină puternică, se deplasează spre părţile mai puţin luminoase ale celulelor. Mecanismul mişcării lor este explicat fie de prezenţa curenţilor citoplasmatici, care le antrenează în deplasarea lor, fie de modificarea tensiunii superficiale a învelişului lor.

8.3. MIŞCĂRILE PASIVE

Acest tip de mişcări se realizează pe baza unor adaptări care permit plantelor întregi sau anumitor organe ale acestora, să fie răspândite dintr-un loc în altul.

Mişcările pasive se bazează pe mecanisme fizice şi se realizează prin modificarea volumului celular al plantelor.



În curburi (fig.8.1), volumul celulelor de pe faţa **d** creşte comparativ cu acela al celulelor de pe faţa **c** care creşte mai încet sau nu creşte deloc. Prin inversarea diferenţei de creştere în volum a celulelor, adică prin creşterea mai intensă a celulelor de pe faţa **c**, se ajunge la dispariţia curburii.

În torsiuni, celulele periferice se alungesc mai mult decât cele centrale, iar alungirea lor se face oblic faţă de axa centrală a organului. **În încolăciri**, alungirea neegală a celulelor are loc într-o direcţie oblică, excentrică.

Modificările volumului celulelor se realizează prin diferenţe de imbibiţie, de coeziune, de tensiune etc.

Mişcări prin imbibiţie. Sunt larg răspândite în natură, întâlnindu-se mai ales la fructele uscate. La efectuarea acestui tip de mişcări nu participă protoplasma celulară; ele se realizează prin modificări inegale ale volumului şi

dimensiunii diferitelor părți care alcătuiesc organul, sub acțiunea apei de imbibiție. De obicei, aceste mişcări nu au loc cu ajutorul apei lichide, ci cu vaporii de apă din aer; din acest motiv se mai numesc mişcări higroscopice.

Mişcări prin coeziune. Aceste mişcări sunt provocate de forța de coeziune a apei prezentă în membranele celulelor care, în anumite situații, poate atinge valori foarte mari, de ordinul a 1000 de atmosfere. Sunt prezente la sporangii ferigilor şi la anterele staminelor. La antere, celulele endoteciului au îngroşări în formă de stea pe fața internă şi de cordoane paralele pe fețele laterale. În urma pierderii apei, membranele externe subțiri şi elastice sunt împinse spre interior, ceea ce va determina deschiderea înceată a anterei. De obicei, anterele deschise nu se mai închid, polenul fiind transportat de vânt sau de insecte.

Mişcări prin aruncare. Astfel de mişcări au loc la plantele infe-rioare şi superioare şi sunt datorate tensiunilor create între diferite țesuturi. Un exemplu în acest sens îl constituie aruncarea polenului de către staminele plantelor din familia *Urticaceae*. Inițial, filamentul staminelor acestor plante este îndoit, dar odată cu maturarea polenului, antena concrescută la baza filamentului se desprinde şi execută o mişcare bruscă de întindere, ceea ce va face ca polenul să fie aruncat la o oarecare distanță de plantă.

8.4. MIŞCĂRILE ACTIVE

8.4.1. Mişcările autonome (nutații)

La plantele superioare fixate pe substrat, mişcările autonome ale organelor lor, sunt determinate de factorii interni ai plantei şi se numesc nutații. Ele se datorează unei creşteri neuniforme ale organelor plantelor, în anumite zone ale suprafeței lor. Nutațiile pot fi efemere şi periodice.

Nutațiile efemere se produc o singură dată în viața plantelor. Dintre acestea fac parte mişcările executate de cotiledoanele plantelor cu germinație epigee (fasole) şi mişcările vârfului tulpiniței, în momentul răsării, la plantele cu germinație hipogee (mazăre). Astfel, la fasole, după ridicarea semințelor la suprafața substratului, cotiledoanele, apropiate între ele în sămânță, se îndepărtează, luând o poziție mai mult sau mai puțin orizontală, printr-o creştere mai accentuată a feței lor superioare. La mazăre, în schimb, la care în timpul germinării, vârful tulpiniței este îndoit în jos, se va constata că după răsărire,

acesta execută o mişcare prin care se îndreaptă cu vârful în sus, urmare a creşterii mai intense a feței inferioare a zonei curbate (fig.8.2).

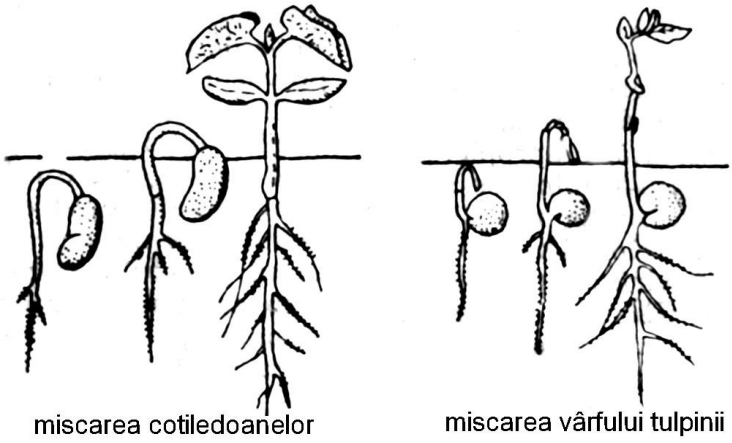


Fig. 8.2. Mişcarea de nutație efemeră a plantelor

Nutațiile periodice se datorează unei creşteri inegale a tulpinilor şi rădăcinilor plantelor, pe laturile lor diferite. Drept rezultat, aceste organe descriu cu vârfurile lor cercuri sau elipse, atâta timp cât sunt în căutarea unui suport; aceste mişcări sunt specifice plantelor volubile şi poartă denumirea de **circumnutații**.

Plantele volubile au tulpini flexibile, un țesut mecanic slab dezvoltat şi o posibilitate redusă de a susține etajul foliar. În cazul în care în apropierea lor este un suport, se încolăcesc în jurul acestuia, orientându-şi frunzele spre lumină. Dacă hameiul execută mişcarea de încolăcire spre dreapta (circumnutează spre dreapta), fasolea urcătoare şi zorelele circum-nutează spre stânga. Există şi plante care circumnutează atât spre stânga, cât şi spre dreapta (liliaceele exotice).

Nutațiile sau mişcările autonome sunt importante în viața plantelor. Datorită lor, cotiledoanele sunt apropiate în sămânță şi organele florale şi foliare, în muguri. Deschiderea mugurilor are loc tot datorită mişcărilor de nutații efemere. În plus, prin circumnutații, vârful rădăcinii se mişcă în jurul axului

vertical, exploatând astfel locurile cu rezistență mai mică, printre particulele solului.

8.4.2. Mişcările induse

Comparativ cu mişcările autonome care apar ca răspuns la influența unor factori interni, proprii organismului vegetal, mişcările induse se materializează ca reacții de răspuns la intervenția unor factori externi: lumină, apă, concentrația substanțelor chimice, forță de gravitație etc. Acțiunea factorilor externi poate să fie unilaterală sau uniformă asupra organelor plantei, ceea ce va genera un răspuns specific la nivelul organelor care nu şi-au definitivat creşterea, ele fiind acelea care percep stimulii externi.

Excitanții externi provoacă modificări la nivelul protoplasmei celu-lare. Astfel, sub acțiunea lor, are loc creşterea permeabilității membranelor, o scădere a vâscozității protoplasmei, o modificare a potențialului electric şi o intensificare a procesului respirator. Aceste modificări se produc într-un timp relativ scurt şi se propagă la nivelul organului excitat, urmând ca după excitație şi reacția propriu-zisă a plantei, să se revină la starea inițială a indicilor protoplasmatici.

Timpul cât acționează stimulul asupra organului plantei se numeşte **durata excitației**. Ea este urmată de **starea latentă** care sugerează timpul care trece de la începutul recepționării stimulului până la începutul reacției organului expus lui. **Durata reacției** se referă la timpul necesar efectuării reacției de răspuns a organului. **Timpul de revenire** la poziția inițială este, de obicei, mai mare decât durata reacției. În decursul perioadei de revenire, organele plantei se găsesc într-o **stare refractară**, din care cauză un nou excitant nu provoacă o reacție sau provoacă o reacție foarte slabă.

Mişcările induse pot îmbrăca forma tropismelor când direcția de acțiune a excitanților provoacă mişcări de curbură la nivelul organelor plantei, sau forma nastiilor când modificarea intensității excitanților provoacă variații de creştere sau de turgescență la nivelul organelor plantei.

Tropisme

Sunt mişcări induse de direcția de acțiune a excitanților externi care se materializează, la nivelul organelor plantei, prin curburi de creştere. Acțiunea

unilaterală a excitanților face ca părțile organului supus stimulului să crească mai mult sau mai puțin.

Tropismele pot fi pozitive, când organul în creştere se orientează în direcția de acțiune a excitantului şi negative, când organul respectiv se orientează în sens opus acțiunii excitantului.

După natura excitantului, tropismele îmbracă mai multe forme: geotropisme, fototropisme, chemotropisme, electrotropisme, higrotropisme şi tigmotropisme.

Tropismele paralelotrope orientează organul în creştere, paralel cu direcția excitantului, iar cele plagiotrope, orientează organul în creştere oblic sau perpendicular față de acțiunea excitantului. În general, tropismele asigură orientarea plantelor în natură față de diferite surse care le asigură creşterea şi dezvoltarea armonioasă.

Geotropismul face referiri la mişcările de curbură ale organelor plantelor, determinate de acțiunea forței de gravitație. El orientează organele plantelor pe direcția acțiunii forței de atracție a Pământului; aceasta explică poziția verticală a tulpinilor plantelor care cresc pe un teren înclinat. Este prezent la plantele inferioare (alge, ciuperci, licheni) şi la cele superioare care îşi orientează organele după o regulă strictă. Astfel, tulpinile lor vor creşte întotdeauna în sus, opus direcției de acțiune a forței de gravitație, iar rădăcinile vor creşte în jos, în sensul acțiunii forței de gravitație.

Geotropismul pozitiv al rădăcinii facilitează pătrunderea în sol a acesteia şi absorbția corespunzătoare a apei şi sărurilor minerale din substrat. Geotropismul negativ al tulpinii care se materializează prin dispunerea ei în sensul opus acțiunii unilaterale a forței de gravitație, dă posibilitatea tulpinii şi frunzelor să se orienteze în poziția cea mai favorabilă pentru captarea energiei luminoase.

Geotropismul reglează şi direcția de creştere a plantelor de graminee căzute, care pot astfel să revină la poziția inițială şi să crească vertical. Indiferent de poziția seminței, rădăcinițele se vor îndrepta spre sol iar tulpinițele şi frunzele spre lumină. Prin urmare, în plante şi semințe există un sistem de orientare a creşterii sub influența forței de gravitație.

Locul de percepere a excitației geotropice este vârful organelor. Dacă rădăcinile percep excitațiile pe o distanță de 3-5 mm de la vârf, tulpinile percep excitațiile geotropice pe o lungime mai mare, de 10-20 mm de la vârf. Auxina, mai concentrată, pe fața inferioară a vârfului tulpinii, provoacă la acest nivel o

intensificare a creşterii în lungime a celulelor, ceea ce determină apariţia curburii negative. La vârful rădăcinii, ţinut în poziţie orizontală, are loc, de asemenea, o acumulare a auxinei pe faţa inferioară.

Din cauza sensibilităţii mari faţă de auxină a vârfului rădăcinii, creşterea concentraţiei acestui hormon pe faţa inferioară a lui, provoacă o inhibare a creşterii celulelor, în lungime, pe această faţă, ceea ce conduce la apariţia curburii pozitive a acestui organ. În concluzie, la aceeaşi cantitate de auxină, celulele tulpinii sunt stimulate în creştere, iar celulele rădăcinii sunt inhibate.

Rolul geotropismului în viaţa plantelor este foarte important întrucât orientează organele acestora în poziţia cea mai potrivită desfăşurării corespunzătoare a tuturor proceselor fiziologice.

Fototropismul. Acest tip de mişcare apare când plantele sunt iluminate unilateral; organele plantei execută curburi datorate variaţiilor de creştere şi se orientează într-un mod specific, în raport cu direcţia din care vine lumina.

Rădăcina prezintă un fototropism negativ, tulpina un fototropism pozitiv, iar frunzele îşi orientează limbul de aşa manieră încât razele de soare să cadă perpendicular pe ele. Orientarea limbului este asigurată de peţiol, care creşte drept sau execută curburi şi torsiuni. Astfel, la plantele mici, crescute în păduri la umbra copacilor, frunzele iau o poziţie orizontală, lumina cea mai intensă venind de sus. Plantele crescute în soare, îşi orientează frunzele astfel încât asupra lor să cadă un număr cât mai mic de raze de lumină. Există însă şi excepţii, respectiv plante care nu îşi orientează frunzele faţă de lumină (*Sedumacre*).

Faptul că perceperea excitaţiilor luminoase se produce în vârful tulpinii, a fost demonstrată experimental de HOLODNÎI şi WENT (1930) prin acoperirea vârfului coleoptilului cu foiţe de staniol; la coleoptilele acoperite nu au mai apărut curburi fototrope (fig.8.3).

Conform explicaţiei celor doi autori, în vârful tulpinii, sub influenţa luminii are loc o deplasare transversală a auxinei, din partea luminată spre partea mai puţin expusă acestui factor. Prin urmare, auxina este vehiculată în sens descendent, stimulând o alungire mai mare a celulelor din partea întunecată.

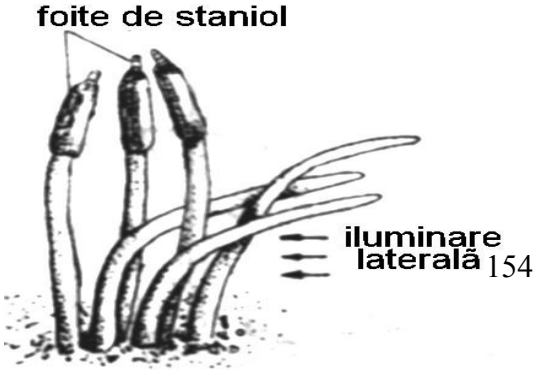


Fig. 8.3.
Reacţia coleoptilelor la acţiunea unilaterală a luminii

Chemotropismul apare la rădăcini, care se pot curba spre zona în care excitantul chimic se găseşte în concentraţie mai mare (chemotropism pozitiv) sau se îndepărtează de această zonă (chemotropism negativ). Sub influenţa fosfatului, rădăcinile plantei de lupin manifestă un chemotropism pozitiv, iar sub efectul clorurii de sodiu, manifestă un chemotropism negativ.

Hidrotropismul constă în însuşirea rădăcinilor plantelor de a se îndrepta, prin mişcări de curbură, spre regiunile din sol care sunt mai bogate în apă. Acţiunea unilaterală a apei orientează organele plantelor spre locurile mai umede, fiind specifică rădăcinilor şi rizoizilor.

Zona perceperii diferenţei de umiditate este vârful rădăcinii, iar reacţia are loc la nivelul zonei de alungire a celulelor acestui compartiment. S-a constatat faptul că, reacţiile hidrotrope sunt mai puternice decât cele geotrope, ceea ce sugerează importanţa rezervei de apă pentru viaţa plantelor şi posibilităţii rădăcinilor de a se orienta, prin aceste mişcări, spre sursa de apă.

Nastii

Nastiile sunt mişcările produse de modificarea în timp a intensităţii unui excitant care acţionează uniform pe toate feţele organelor plantelor. Aceste mişcări se materializează prin variaţii de creştere şi de turgescenţă, la organul asupra căruia acţionează stimulul extern (lumină, temperatură, alternanţa zi-noapte, şocuri mecanice). Nastiile îmbracă mai multe forme: seismonastii, termonastii, fotonastii şi nictinastii.

Seismonastii. Aceste mişcări, sunt provocate de şocurile mecanice (atingere, scuturare, frecare, apropierea unui chibrit aprins etc.). Ele se manifestă la *Mimosa pudica*, *Oxalis acetosella* şi la *Berberis vulgaris* (dracila). La *Mimosa pudica* se constată faptul că, după şocul mecanic, peţiolurile principale ale frunzelor se apleacă brusc, cele secundare se apleacă şi ele, apropiindu-se între ele, iar foliolele se ridică şi se alipesc între ele cu feţele lor supe-rioare; planta ia poziţia caracteristică pe care o are în timpul nopţii.

În general, după o reacție, planta intră într-o fază refractară, în care au loc fenomene de refacere ale organismului. În final, după 10-15 minute, planta revine la poziția normală, pe care o are în timpul zilei.

Termonastii. Se datorează variațiilor de temperatură ale mediului extern şi implică deschiderea, respectiv închiderea florilor. Mişcarea se realizează prin creşterea inegală a feţelor petalelor. Acest tip de mişcare se poate pune în evidență, cu uşurință, la florile de lalea. Astfel, dacă se ia o floare închisă şi se introduce într-un vas cu apă la temperatura de 25-30°C, se va constata că ea se va deschide, într-un interval de 10-15 minute. Dacă floarea se trece apoi într-un vas cu apă rece (la temperatura de 5-8°C), ea se va închide. Aceste mişcări ale florilor de lalea se datorează variațiilor de creştere; piesele învelişurilor florale cresc mai repede pe fața internă, în cazul când condițiile externe favorizează deschiderea florilor, iar la închidere, cresc mai intens pe fața lor externă.

Fotonastii. Modificarea în timp a intensității luminii, provoacă la plante mişcări datorate unor variații de creştere. În natură, fotonastiile au loc dimineața devreme, când are loc trecerea de la întuneric la lumină şi spre seară, când se face trecerea de la lumină la întuneric.

Florile multor plante se deschid dimineața şi se închid seara. Astfel se comportă florile de păpădie şi in, comparativ cu florile speciilor de *Nicotiana* care se deschid seara şi se închid dimineața. Aceste mişcări sunt în legătură strânsă cu procesul de polenizare, întrucât florile deschise ziua sunt polenizate de insectele diurne, iar cele deschise în timpul nopții, de către insectele nocturne.

Nictinastii. Aceste mişcări sunt caracteristice florilor şi frunzelor unor plante şi sunt provocate de alternanța zi-noapte. Întrucât această alternanță provoacă variații diurne ale intensității luminii, de la valoarea maximă ziua până la cele minime noaptea şi variații în acelaşi sens ale temperaturii, este dificil a se remarca dacă aceste mişcări se execută ca rezultat al variațiilor intensității luminii sau ale temperaturii. Astfel, la unele plante, în realizarea acestor mişcări predomină termonastia, iar la altele, fotonastia.

Alături de flori, dintre care unele se deschid dimineața şi se închid noaptea (*Tulipa*, *Crocus*), iar altele se deschid doar în timpul nopții (*Nicotiana alata*, *Mirabilis jalapa*), aceste mişcări sunt caracteristice şi pentru frunzele diferitelor specii de plante.

La trifoi, odată cu lăsarea întunericului, cele două foliole laterale se apropie una de alta, cu fața superioară a limbului, iar foliola terminală se apleacă

peste ele. În schimb, la fasole, foliolele se apropie, seara, între ele cu fața inferioară a limbului (fig.8.4).

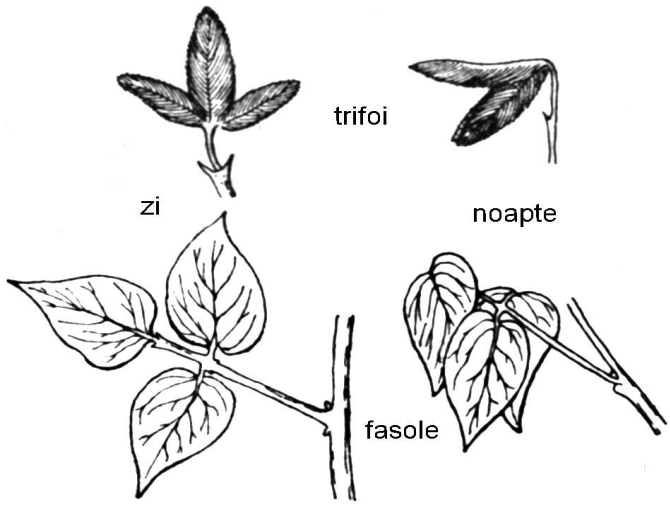


Fig. 8.4. Mişcări nictinastice la frunze

La *Mimosa pudica*, odată cu lăsarea serii, foliolele frunzelor se apropie între ele, cu fața superioară, peţiolurile principale se apleacă, iar peţiolurile secundare au un comportament similar.

Test de autocontrol

1.Cum se numesc mişcările induse de acțiunea unilaterală a factorilor externi asupra organelor plantei?

a. tropisme

b. nastii

c. nutații periodice

d. mişcări intracelulare

2. Cum se numesc mişcările provocate de acțiunea uniformă a factorilor de mediu asupra plantei?

a. geotropisme

b. nastii

c. circumnutații

d. mişcări de imbibiție

3. Unul dintre argumentele mişcării la plante este legat de :

a. vârsta organismului

b. repartizarea vegetației pe glob

c. prezența unor substanțe stimulatoare

d. nevoia de hrană

4. Ce plante execută mişcari?

a. plantele inferioare

b. plantele superioare

c. ambele tipuri de plante

Bibliografie

Obligatorie:

1. Suport curs;

2. Ştefania Gâdea, 2003, *Fiziologie vegetală,* Ed. AcademicPres, Cluj-Napoca;

3. Vâtca S., si colab., 2008, *Fiziologie vegetală – lucrări practice*, Ed. AcademicPres, Cluj- Napoca

Facultativă*:*

1. Suciu T. şi colab., 1982, *Fiziologie vegetală,* Ed. Did. şi Ped., Bucureşti,

2. Trifu M., Bărbat I., 1997, *Fiziologia plantelor* (*capitole alese*), Ed. Viitorul Românesc, Cluj-Napoca,

3. Cristina Dobrotă, Yamashita M., 1999, *Creşterea şi dezvoltarea plantelor,* Ed. Risoprint, Cluj-Napoca.

Internet:

http://www.plantphysiol.org/contents-by-date.0.shtml

http://4e.plantphys.net/

http://arjournals.annualreviews.org/loi/arplant?cookieSet=1

http://www.britannica.com/EBchecked/topic/9612/agricultural-sciences#

Test autoevaluare final

1. Funcția nucleului este legată de:
    a. sinteza proteinelor
    b. digestia intracelulară
    c. stocarea informației genetice
    d. hidratarea celulei

2. Compartimentarea celulară facilitează:
    a. derularea corespunzătoare a reacțiilor fiziologice
    b. transformarea energiei luminoase în energie chimică
    c. protecția materiei vii în cadrul celulei
    d. descompunerea enzimatică a amidonului

3. Care sunt procesele fizice implicate în accesul apei în corpul plantelor?

a. difuzia şi schimbul ionic

b. osmoza şi imbibiția

c. adsorbția

d. plasmoliza

4. Cum se numeşte procesul fiziologic implicat în eliminarea lichidă a apei din plante?

a. plasmoliză

b. gutație

c. transpirație

d. imbibiție

5. Confirmați câteva dintre procesele fizice implicate în accesul nutrienților în plante:

a. osmoza şi plasmoliza

b. schimbul ionic şi difuzia

c. imbibiția şi absorbția

d. plasmoliza şi deplasmoliza

6. Primele indicii referitoare la carențele în nutrienți din plante se manifestă prin:

a. accelerarea ritmului respirator

b. reducerea taliei plantei

c. scăderea intensității fotosintezei

d. modificări de culoare, formă şi mărime a organelor

7. Mecanismul fotosintezei presupune:

a. un lanț succesiv de reacții foto şi biochimice

b. absorbția O_2 şi eliminarea CO_2 din plante

c. reacții biochimice în cadrul ribozomilor

d. reacții de culoare în citoplasmă

8. Din ce zone provin plantele la care sunt specifice reacțiile ciclului fotosintetic de tip CAM?

a. zone tropicale şi subtropicale

b. zone temperate

c. zone aride şi deşerturi

d. zone reci

9. Procesul respirator presupune un schimb de gaze, materializat prin:

a. absorbție de O_2 şi degajare de CO_2

b. absorbție de CO_2 şi degajare de O_2

10. Intensitatea respirației diferă în funcție de influența unor factori :

a. interni şi externi

b. ereditari

c. edafici

11. Ce reprezintă creşterea pentru plante?

a. un proces calitativ

b. premisa declanşării procesului de germinație

c. declanşarea mişcării

d. un salt cantitativ

12. Cum se numesc celulele implicate în procesul de creştere la plante?

a. mecanice

b. meristematice

c. secretoare

d. conducătoare

13. Dintre factorii care influențează declanşarea procesului de înflorire la plante, fac parte:

a. temperatura scăzută negativă

b. succesiunea anotimpurilor

c. temperatura scăzută pozitivă

d. densitate plantelor la unitatea de suprafață

14. Ce proces fiziologic influențează vernalinul şi fitocromul din plante?

a. fotosinteza

b. respirația

c. dezvoltarea

d. mişcarea

15. Cum se numesc mişcările plantelor provocate de acțiunea uniformă a factorilor de mediu?

a. geotropisme

b. nastii

c. circumnutații

d. mişcări de imbibiție

16. Unul dintre argumentele mişcării la plante este legat de :

a. vârsta organismului

b. repartizarea vegetației pe glob

c. prezența unor substanțe stimulatoare

d. nevoia de hrană